PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 20. 15. Oktober 1905. 6. Jahrgang.

Redaktionsschluß für No. 21 am 11. Oktober 1905.

INHALT.

Originalmitteilungen:

H. Ebert, Ionenzählungen bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905. S. 641.

H. Gerdien, Der Elektrizitätshaushalt der Erde und der unteren Schichten der Atmosphäre. S. 647.

H. Becquerel, Über einige Eigenschaften der α-Strahlen des Radiums. S. 666.

Mitteilungen aus dem physikalischen Institut der Universität Pisa:

No. 24: A. Occhialini, Die Dielektrizitätskonstante der Luft in ihrer Beziehung zu ihrer Dichte. S. 669.

W. Voigt, Bemerkung zur Theorie der konischen Refraktion. S. 672.

N. Umow, Chromatische Depolarisation durch Lichtzerstreuung. S. 674.

A. Dahms, Ein Demonstrationsversuch zum Nachweis ultraroter Strahlen. S. 676.

A. Denizot, Die Theorie der relativen Bewegung und ihre Anwendung auf Bewegungen auf der Erdoberfläche. S. 677.

M. P. Rudzki, Theorie der relativen Bewegung. S. 679.

Besprechungen:

J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie. 2. Aufl. S. 680.

Personalien. S. 680.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Ionenzählungen bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsternis am 30. August 1905.

Von H. Ebert.

Die Beobachtung der diesjährigen totalen Sonnenfinsternis von Palma de Mallorca aus gab mir Veranlassung, sowohl auf der Hin- und Rückreise wie in Palma am Tage der Verfinsterung selbst eine Reihe von Messungen des Ionengehaltes mit dem von mir konstruierten Aspirationsapparate vorzunehmen. Wenn diese Messungen auch zu wenig zahlreich sind, um allgemeinere Bedeutung beanspruchen zu können und gewissermaßen nur als „Stichproben" zu gelten haben, so glaube ich doch dieselben veröffentlichen zu sollen, da dieselben die Beobachtungen anderer Forscher, welche das seltene Phänomen in südlichere Breiten gelockt hatte, zu ergänzen vermögen.

Verwendet wurde der Apparat in der neuen Form mit vertikal stehendem Aspirationsrohre [1]), welche die Messungen in hohem Grade von dem Einflusse der Windrichtung frei werden läßt, was besonders bei Messungen auf fahrendem Schiffe von Wichtigkeit ist.

Der von der Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig hergestellte Apparat, welcher durchweg ohne den Hilfskondensator benutzt wurde, hat sich auf der ganzen Reise tadellos bewährt; vor allem machte die Isolation, die immer in den Zwischenzeiten zwischen den einzelnen Beobachtungssätzen aufs neue kontrolliert wurde, nicht die mindeste Schwierigkeit. Die Isolationsverluste hielten sich immer auf 0,6 Volt pro Stunde; ihr Einfluß ist bei allen im folgenden mitgeteilten Einzelwerten bereits in Abrechnung gebracht. Auch Schwierigkeiten durch störende elektrostatische Ladungen, wie sie die Herren Arthur und Ludwig Boltzmann auf der „Belgravia" antrafen [2]), wurden niemals bemerkt; die genannten Forscher scheinen unter besonders schwierigen und ungünstigen Verhältnissen gearbeitet zu haben.

In den folgenden Tabellen bedeutet:

E die Elektrizitätsmenge (in elektrostat. Einh.) des davorstehenden Zeichens [1]), welche in 1 cbm in Form von Ladungen aller derjenigen Ionen enthalten ist, deren Wanderungsgeschwindigkeit größer als 0,2 cm/sek pro Volt/cm Gefälle ist. (Das sind alle die gewöhnlichen Ionen, wie sie durch Becquerelstrahlungen und aktivierende Emanationen direkt erzeugt werden; die trägeren elektrisch geladenen Partikelchen, wie sie z. B. in der Atmosphäre durch Anlagerung dieser Ionen an Staubteilchen gebildet werden, können z. T. durch den Apparat hindurchfliegen, ohne zur Abgabe ihrer Ladung veranlaßt zu werden.)

Q den Überschuß an positiver Ladung über die vorhandene negative Ladung in der Raumeinheit, d. i. also die „freie Elektrizität", welche vielleicht für die Änderung des Potentialgefälles mit der Höhe maßgebend ist; es ist also: $Q = E_+ - E_-$, wobei die E diejenigen der beiden nächstbenachbarten Beobachtungswerte sind. Ein positiver Wert von Q zeigt an, daß die + Ionen, ein negativer, daß die — Ionen überwiegen.

1) Vgl. H. Ebert, Verhandl. d. Deutschen Phys. Ges. 7, 35, 1905.

2) A. Boltzmann, Sitzungsber. d. Wiener Akad. math. naturw. Cl. **113**, Abt. IIa, 1455, 1904 und diese Zeitschr. **6**, 132, 1905.

1) Damit kein Mißverständnis bei dem Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Beobachter eintritt, möge nochmals bemerkt werden, daß $E+$ die in der Luft vorhandene positive Ladung bezeichnet, deren Höhe man also bestimmt, wenn man den Innenzylinder des Apparates negativ ladet. Einige Autoren bezeichnen die entsprechende Zahl mit $E-$ wohl in Analogie mit dem am Elster-Geitelschen Apparate erhaltenen Zerstreuungswerte, den man im vorliegenden Falle mit a bezeichnen würde. Aber auch dieser Wert bezieht sich augenscheinlich auf eine Wirkung der + Ionen. Jedenfalls sollte man sich hier auf eine bestimmte Bezeichnung einigen oder doch genau angeben, wie die betreffenden Symbole zu verstehen sind. Im speziellen ist es nicht überflüssig, zu bemerken, ob sich eine Angabe wie „negative Ladung", „positive Ladung" auf den Apparat oder die Luft selbst bezieht.

p den Quotienten: E_+/E_-, welcher ein Maß für die bestehende „Unipolarität" der räumlichen Ladungsdichte gibt.

N die Zahl der Ionen im cbm in Milliarden und

n die Ionendichte, also die Anzahl der Ionen von dem betreffenden Vorzeichen im cbcm; bei der Ableitung der beiden letztgenannten Zahlen aus E wurde die Ionenladung nach J. J. Thomsons letzter Messung zu $3{,}4 \cdot 10^{-10}$ elektrostat. Einh. angenommen;

t die Lufttemperatur;

e die Spannkraft des vorhandenen Wasserdampfes in mm Quecksilber, also den „Dunstdruck",

f den wahren Feuchtigkeitsgehalt in g pro cbm Luft;

F die relative Feuchtigkeit in Prozenten;

die hierauf folgende Zeitangabe bezieht sich auf den Moment, in welchem die Thermometermessungen gemacht wurden, während die in der zweiten Kolonne stehenden Zeitintervalle die Dauer der Aspiration des Ionenzählers angeben. Die Zeiten sind mittlere Greenwicher Zeiten; die Nummern der Beobachtungen beziehen sich auf das Beobachtungsjournal des betreffenden Apparates.

Die Windstärken wurden nach der sechsstufigen Landskala geschätzt.

1. Des Vergleiches halber mögen zunächst einige Beobachtungen mitgeteilt werden, welche vor der Reise mit dem Apparate in München angestellt worden waren. Der Beobachtungsort befindet sich auf einem Balkone der zweiten Etage meiner im Norden München-Schwabings an der Peripherie der Stadt gelegenen Wohnung, wo bei freiem Horizonte noch staub- und rauchfreie reine Luft vorhanden ist. Ich wähle die um die Mittagszeit angestellten Beobachtungen aus, weil nur diese mit den folgenden Messungen, die etwa um dieselbe Tageszeit angestellt wurden, einigermaßen vergleichbar sind.

Während des August beobachtete Herr cand. phys. Max Dieckmann mit einem vorher mit dem meinigen verglichenen Apparate[1]) in dem Hochtale der Jachenau (790 m) in den nördlichen Kalkalpen und erhielt folgende Mittelwerte:

$$E_+ = 0{,}608;\ E_- = 0{,}281;\ \text{Mittel: } 0{,}444,$$
$$Q = 0{,}327;\ p = 2{,}16,$$
$$N_+ = 1{,}79;\ N_- = 0{,}83;\ \text{Mittel: } 1{,}31,$$
$$n^+ = 1790;\ n^- = 830;\ \text{Mittel: } 1310.$$

Als Maximalwerte ergaben sich an einem sehr klaren Tage (25. August) $E_+ = 1{,}71$, $E_- = 0{,}86$.

1) Ich möchte nicht verfehlen, bei dieser Gelegenheit darauf hinzuweisen, daß man von einer derartigen Vergleichung nicht allzuviel erwarten darf. Die Unvollkommenheit liegt nicht im Prinzip des Apparates, sondern am Blättchenelektroskop.

Sind die in der Luft vorhandenen Ionenmengen klein, beträgt der Rückgang der Blättchen des Elektroskops also nur wenige Skalenteile während der im allgemeinen verwendeten Beobachtungsdauer, so ist klar, daß Ablesungsfehler von einem Zehntel schon relativ sehr viel ausmachen. Dazu kommt eine Eigentümlichkeit der meisten Elektroskopblättchen, die man als „Cri-cri"-Erscheinung bezeichnen könnte; sie liegt in einer gewissen Versteifung der Blättchen, welche sie in einer größeren Spreizung erhält, wenn auch schon die Spannung unter den derselben entsprechenden Wert gesunken ist. Jeder Beobachter wird die Erfahrung gemacht haben, daß der Rückgang der Divergenz von Elektroskopblättchen im allgemeinen kein gleichmäßiger ist, selbst wenn die Spannungsabnahme vollkommen gleichförmig verläuft; oft bleiben die Blättchen dabei längere Zeit in derselben Stellung verharrend, um dann plötzlich um einen größeren Betrag nachzusinken. Hat man bei gleichzeitiger Verwendung zweier Apparate den einen eben noch vor, den anderen nach dem Zusammengehen der Blättchen abgelesen, so können erhebliche Differenzen auftreten. Dieselbe Erfahrung macht man, wenn man mehrere Elster-Geitelsche Zerstreuungsapparate unter ganz identischen Bedingungen miteinander vergleicht. Sind die Ionenmengen groß, so fallen diese Störungen weniger ins Gewicht und die Angaben zweier Apparate zeigen größere Übereinstimmung. Es ist nicht zu leugnen, daß das Blättchenelektroskop ein Notbehelf ist, der durch die Forderung einer leichten Transportierbarkeit des Instrumentariums geboten wird.

Bei Stationsbeobachtungen namentlich dann, wenn es sich um Registrierungen handelt, sollte man immer nur Elektrometer vom Typus des Quadranteninstrumentes verwenden. Bei Potentialmessungen fallen diese Störungen bei weitem nicht in gleichem Maße ins Gewicht.

München-Schwabing; 19. August 1905.

No.	Beobachtungszeit	Vorzeichen	E	Q	p	N	n	Bemerkungen
41	$11^h\,13^m - 11^h\,21^m$ a. m.	—	0,57			1,67	1670	Wolkig; ziemlich starker Wind (Stärke
42	11 24 — 11 33 „	+	0,43	−0,14	0,75	1,27	1270	3 bis 4) aus SW. Wind legt sich all-
43	11 35 — 11 44 „	—	0,39	+0,04	1,10	1,15	1150	mählich; Sonnenschein; Windstärke nur
44	11 47 — 11 56 „	+	0,44	+0,05	1,13	1,30	1300	noch etwa 1.

München-Schwabing; 20. August 1905.

53	$3^h\,28^m - 3^h\,37^m$ p. m.	—	0,29			0,85	850	Helles, sonniges Wetter; viele kleine
54	3 39 — 3 47 „	+	0,63	+0,34	2,16	1,85	1850	sommerliche Kumuli am Himmel. Wind-
55	3 49 — 3 58 „	—	0,45	+0,18	1,40	1,32	1320	stärke 3, Windrichtung SW.
56	4 00 — 4 9 „	+	0,61	+0,16	1,36	1,79	1790	

Die Mittelwerte aus diesen Zahlen sind: $E_+ = 0{,}528$, $E_- = 0{,}425$, Mittel: 0,477 also:

$$Q = +0{,}103,\ p = 1{,}24$$

$N_+ = 1{,}55$, $N_- = 1{,}25$, Mittel: 1,40; $\quad n^+ = 1550$, $n^- = 1250$, Mittel: 1400.

Hier zeigt sich also ein ausgesprochenes Überwiegen in der Anzahl der + Ionen, wie es in München selbst nur ganz ausnahmsweise (bei Föhnwetter) vorkommt.

Die Potentialwerte zeigen am Tage der Sonnenfinsternis einen ausgesprochenen Gang mit einem Minimum zur Zeit der größten Phase der Verfinsterung mit darauffolgendem Ansteigen des Gradienten.

2. Sowohl vor wie nach der Sonnenfinsternis wurde auf dem Schiffe auf freier See inmitten des Golfe de Lion sowie im Hafen von Barcelona die Ionenzahl gemessen.

Gleichzeitig bestimmte Herr Dr. Freiherr von und zu Aufseß mittels eines Aßmannschen Aspirations-Psychrometers die Luft-Temperatur und -Feuchtigkeit.

Die Apparate konnten auf der Kommandobrücke der Dampfjacht „Hispania" der Compagnia servizio italo-spagnuolo (General-Agentur von Semler und Gerhardt) aufgestellt werden, wozu der Kommandant, Herr Kapitän Antonio Serra, in liebenswürdigster Weise die Erlaubnis gab; es wurde darauf gesehen, daß dieselben stets auf der Luvseite montiert waren.

Vereinigt man die auf freier See erhaltenen Werte zu gemeinsamen Mitteln, so ergibt sich:

$E_+ = 0{,}193$; $E_- = 0{,}181$; Mittel: 0,187
$Q = +0{,}012$; $p = 1{,}07$
$N_+ = 0{,}57$; $N_- = 0{,}53$; Mittel: 0,55
$n = 570$; $n = 530$; Mittel: 550.

Hier fällt der außerordentlich geringe Betrag an Ionenladungen E sowie die fast verschwindende Unipolarität auf. Zu bemerken ist aber hierzu, daß das Meer die ganze Zeit über ganz außerordentlich ruhig und von keiner Welle gekräuselt war.

Ähnlich niedrige Werte traf Herr G. Lüdeling auf Helgoland im Sommer 1903 an.[1]) Er kommt, indem er seiner Beobachtungstabelle die ganz einwandsfreien, für ruhiges Wetter geltenden Messungen entnimmt, zu den folgenden Mittelwerten für die niedrige, rings vom Meerwasser umspülte Düne von Helgoland (23. bis 26. Juni 1903):

$E_+ = 0{,}13$; $E_- = 0{,}07$; Mittel: 0,10
$Q = +0{,}06$; $p = 1{,}86$
$N_+ = 0{,}38$; $N_- = 0{,}18$; Mittel: 0,28
$n = 380$; $n = 180$; Mittel: 280

während schon auf dem felsigen Oberlande folgende Mittelwerte (19. bis 22. Juni) gefunden wurden:

$E_+ = 0{,}25$; $E_- = 0{,}13$; Mittel: 0,19
$Q = +0{,}12$; $p = 1{,}92$.
$N_+ = 0{,}74$; $N_- = 0{,}38$; Mittel: 0,56
$n = 740$; $n = 380$; Mittel: 560.

Auch die von mir im Hafen von Barcelona

1) G. Lüdeling, Luftelektrische und Staubmessungen auf Helgoland 1903. Veröffentl. des K. Preuß. Meteorolog. Instituts. Ergebnisse der met. Beobachtungen in Potsdam 1901. Berlin 1904.

Golfe de Lion; 24. August 1905.
$t = 24{,}2$; $e = 17{,}7$; $f = 17{,}2$; $F = 78$ ($3^h 20^m$ p. m.)

Nr.	Beobachtungszeit	Vorzeichen	E	Q	p	N	n	Bemerkungen
72	$2^h 33^m$—$2^h 42^m$ p. m.	—	0,094	+0,10	2,02	0,28	280	Etwas dunstig; schwacher Wind aus SW. Meer völlig ruhig.
73	2 46 —2 55 „	+	0,19	—0,02	0,90	0,56	560	
74	2 57 —3 5 „	—	0,21	+0,00	1,00	0,62	620	
75	3 6 —3 15 „	+	0,21	+0,02	1,11	0,62	620	
76	3 16 —3 25 „	—	0,19			0,56	560	

Barcelona, Hafen; 27. August 1905.
$t = 21{,}6$; $e = 14{,}7$; $f = 14{,}4$; $F = 76$ ($11^h 30^m$ a. m.)

77	$11^h 28^m$—$11^h 37^m$ a. m.	—	0,22	+0,09	1,41	0,65	650	Himmel klar; kräftiger Wind (Stärke 3—4) vom Meere her aus SE. (Da Sonntag ist und alle Hafenarbeiten ruhen, so ist die Luft völlig rein).
78	11 38 —11 47 „	+	0,31	+0,07	1,29	0,91	910	
79	11 49 —11 57 „	—	0,24	+0,04	1,17	0,71	710	
80	11 59 —12 8 „	+	0,28			0,82	820	

Golfe de Lion; 1. September 1905.

99	$11^h 47^m$—$11^h 56^m$ a. m.	—	0,17	—0,08	0,55	0,50	500	Himmel ziemlich klar, nur einige Cirren.
100	11 58 —12 7 p. m.	+	0,091	—0,06	0,63	0,28	280	$t = 19{,}6$; $e = 12{,}3$; $f = 12{,}1$; $F = 72$ ($12^h 0^m$).
101	12 9 —12 17 „	—	0,15	+0,00	1,00	0,44	440	Kräftiger Wind aus ENE.
102	12 18 —12 26 „	+	0,15	+0,00	1,00	0,44	440	
103	12 28 —12 36 „	—	0,15	+0,07	1,46	0,44	440	
104	12 38 —12 46 „	+	0,22	+0,00	1,00	0,65	650	
105	12 48 —12 56 „	—	0,22	+0,00	1,00	0,65	650	
106	12 58 — 1 7 „	+	0,22	—0,05	0,81	0,65	650	$t = 19{,}7$; $e = 12{,}6$; $f = 12{,}4$; $F = 73$ ($1^h 0^m$).
107	1 9 — 1 17 „	—	0,27	+0,00	1,00	0,79	790	$t = 19{,}8$; $e = 12{,}7$; $f = 12{,}5$; $F = 73$ ($1^h 15^m$).
108	1 19 — 1 28 „	+	0,27			0,79	790	

erhaltenen Werte sind bereits viel höher und zeigen eine deutlicher ausgeprägte Unipolarität:

$E_+ = 0{,}295$; $E_- = 0{,}230$; Mittel: 0,262
$Q = +0{,}065$; $p = 1{,}28$.
$N_+ = 0{,}87$; $N_- = 0{,}68$; Mittel: 0,78
$n^+ = 870$; $n^- = 680$; Mittel: 780.

Wenn auch bei der geringen Zahl der Einzelbeobachtungen hierauf kein großes Gewicht zu legen ist, so kann man doch vielleicht in diesem Ansteigen der E-Werte und der Verschiebung des Gleichgewichtes in den Zahlen für die Ionen zugunsten der + Ionen bereits eine Einwirkung des Festlandes erblicken.

Immerhin stehen auch diese Zahlen noch weit hinter den unter 1) mitgeteilten, für München und die Jachenau geltenden zurück.

Man dürfte nicht fehlgehen, wenn man den Grund für diese niederen Werte auf der See und an Küsten bei ruhigem Wetter in folgenden drei Momenten erblickt, auf die auch schon Herr Lüdeling selbst hingewiesen hat:

a) im Mangel an genügender, mit der Atmosphäre in Kommunikation stehender Erdsubstanz, welche von Elster und Geitel als ein Hauptsitz des ionisierenden Prinzips jedenfalls der unteren Luftschichten erkannt wurde;

b) in der Erschwerung dieser Kommunikation infolge der Durchfeuchtung des Bodens mit Meerwasser, welche insbesondere die radioaktiven Emanationen (Radium- und Thoremanation) am freien Austritt mehr oder weniger behindert,

c) in der Ionenadsorption an Wasserteilchen und Salzstaubpartikelchen, welche die Luft an der Meeresküste immer reichlich erfüllen (vergl. hierüber die interessanten Staubzählungen von G. Lüdeling[1]); mit diesen Partikelchen zugleich wird auch eine größere Anzahl der durch sie beschwerten Ionen immer wieder niedergeschlagen oder durch den Wind fortgeführt.

Es ist nicht uninteressant, mit diesen Zahlen die Mittelwerte zu vergleichen, welche die Herren L. und A. Boltzmann vom 21. bis 31. August 1904 auf dem Atlantischen Ozean erhielten; sie fanden als Gesamtmittel:[2])

$E_+ = 0{,}391$; $E_- = 0{,}272$; Mittel: 0,332
$Q = +0{,}119$; $p = 1{,}44$
$N_+ = 1{,}15$; $N_- = 0{,}80$; Mittel: 0,97
$n^+ = 1150$; $n^- = 800$; Mittel: 970

Das sind erheblich höhere Zahlen, namentlich eine viel ausgesprochenere Unipolarität. Die genannten Forscher hatten namentlich im Anfange ihrer Reise starken Seegang und später auffallende Störungen elektrostatischer Natur. Nun ionisiert aber nach den Untersuchungen von Ph. Lenard brandendes und verspritzendes Seewasser die umgebende Luft positiv. Auf dieser positiven Elektrisierung durch den „splashing effect" scheint auch die auffallend hohe Unipolarität zu beruhen, die man wiederholt an Meeresküsten beobachtet hat, worauf schon Herr J. Elster früher hingewiesen hat.[1])

Welchen Betrag die Ionisierung der Luft durch fallendes und zerspritzendes Wasser erreichen kann, mögen die folgenden im Juli 1903 im Altjoch bei Kochel erhaltenen Werte erläutern: Während sich am Nachmittage des 18. Juli auf der Veranda des Neubaues des Gasthauses „Altjoch" die Werte ergeben hatten:

			E	Q	p	N	n
1^h 19^m	-1^h 34^m	p. m.	−0,231			0,68	680
1 36	−1 51		+0.347	0,116	1,51	1,02	1020

und in einem ausgetrockneten Bachbette auf Kalksteingerölle unter Bäumen, wo gleichzeitig Herr Prof. J. Elster einen großen Reichtum an induzierender Emanation feststellte, die Werte:

2^h 25m	-2^h 40m	p. m.	−0,462	+0,115	1,25	1,36	1360
2 42	−2 57		+0,577	+0,076	1,15	1,70	1700
3 0	−3 15		−0,501	+0,268	1,53	1,47	1470
3 20	−3 35		+0,769			2,26	2260

ergaben sich am 20. morgens am Kocheler Wasserfalle bei angenähert gleicher Wetterlage die Zahlen:

7 52	−8 0	a. m.	−7,50	−6,42	0,144	22,1	22100
8 2	−8 17		+1,08			3,17	3170

Man sieht, daß der Gehalt an — Ionen denjenigen an + Ionen um das 6,95fache übertrifft, wobei noch die bereits an Wasserstäubchen geketteten Ionen zum Teil durch das Feld des Apparates hindurchgeschlüpft sein mögen (vgl. oben S. 641); auffallend ist auch, daß der Reichtum an + Ionen in der Nähe des Wasserfalles auch zugenommen hatte, wenn auch bei weitem nicht in dem Maße wie derjenige an — Ionen.

Bei verspritzendem Seewasser dürfen wir ähnliche Elektrisierungen aber im umgekehrten Sinne erwarten.

Es wäre interessant, wenn einmal an ruhigen und elektrisch normalen Tagen luftelektrische Messungen auf einem genügend störungsfreien Fahrzeuge unternommen würden, welches sich von der Küste entfernt und dieser wieder nähert unter Mitwirksamkeit einer sekundierenden Landstation, mit deren Instrumenten das Instrumentarium des Fahrzeuges vorher und nachher zu vergleichen wäre.

3. In Palma hatten wir das Glück, Seite an Seite mit den Herren J. Elster, H. Geitel und F. Harms beobachten zu können, welche mit Unterstützung der Carnegie-Stiftung ein umfangreicheres luftelektrisches Programm zur

1) G. Lüdeling, Luftelektrische und Staubmessungen an der Ostsee 1902. Veröffentl. des K. Preuß. Meteorolog. Instituts. Ergebnisse der met. Beob. in Potsdam 1901. Berlin 1904, sowie die oben zitierten Messungen auf Helgoland.

2) Vergl. A. Boltzmann, Sitzber. der Wiener Akad. math. naturw. Kl. **113**, Abt. IIa, 1465, 1904 und diese Zeitschr. **6**, 133, 1905; $E-$ dasselbe entspricht unserem $E+$ und umgekehrt.

1) J. Elster, diese Zeitschr. **2**, 113, 1900.

Durchführung brachten. Dadurch war zugleich eine gewisse Arbeitsteilung ermöglicht. So hatten wir uns dahin verabredet, daß Herr Geitel, welcher mit einem dem meinigen gleichen Aspirationsapparate, gleichfalls von Günther Tegetmeyer, die Ionenzahl sowie die spezifische Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen bestimmte, während der Totalität selbst die + Ionen abfangen und zählen wollte, während ich selbst die Bestimmung der — Ionen übernahm. Dies war deshalb sehr wichtig, weil die Zählung selbst immer einige Minuten in Anspruch nimmt und daher eine Umladung während der nur drei Minuten dauernden Totalität unzweckmäßig erscheinen mußte.

Unser Beobachtungsplatz mußte als ein für unsere Zwecke überaus günstiger bezeichnet werden. Von seiten des deutschen Konsulats in Palma wurde uns eine Terrasse der Villa Formighera zur Verfügung gestellt, welche dicht am Meeresstrande ca. 30 m oberhalb desselben in einem Garten die denkbar beste Aufstellung der Apparate ermöglichte. Hierfür, sowie für mannigfache anderweitige Unterstützungen sind wir Herrn und Frau Konsul Karl Schrader zu großem Danke verpflichtet.

Die Ergebnisse der oben genannten Forscher werden zur Zeit an anderer Stelle in extenso mitgeteilt werden.[1]) Die von uns erhaltenen Werte sind in der folgenden Tabelle enthalten.

1) Bei dem Vergleiche ist nicht außer acht zu lassen, daß Herr Geitel mit vorgestecktem Hilfskondensator arbeitete, weil er zugleich auch die Wanderungsgeschwindigkeit bestimmte. Erfahrungsgemäß sind die dabei erhaltenen Zahlen um ca. 30 Proz. zu erhöhen, um mit denen ohne diesen Vorsteckkondensator erhaltenen vergleichbar zu werden, da in demselben durch Adsorption, selbst wenn er geerdet ist, eine gewisse Menge Ionen verloren geht (vergl. hierzu auch H. Mache und E. von Schweidler, diese Zeitschr. **6**, 71, 1905).

Die Mittelwerte dieser Zahlen sind:

$E_+ = 0{,}396$; $E_- = 0{,}409$; Mittel: 0,402

$Q = -0{,}013$; $p = 0{,}968$

$N_+ = 0{,}116$; $N_- = 0{,}120$; Mittel: 0,118

$n = 1160$; $n = 1200$; Mittel: 1180

An die erhaltenen Werte möchte ich die folgenden Bemerkungen anknüpfen:

a) Die in der Raumeinheit der Luft angetroffene Ionenzahl ist an der Küste dieser balearischen Insel wesentlich kleiner, als im Inneren des Kontinents um dieselbe Jahreszeit und bei ähnlicher Witterungslage (allerdings in erheblich größerer Meereshöhe). Dies gilt in erster Linie bezüglich der + Ionen.

So liegen z. B. die oben mitgeteilten Münchener Werte für die + Ionen um das 1,33 fache, die Jachenauer um das 1,54 fache höher als am genannten Tage an unserem Beobachtungspunkte auf Mallorca.

Andererseits sind aber die auf Mallorca gefundenen Werte wesentlich grösser als die auf freier See vor und nach dem Finsternistermine angetroffenen; sie übertreffen sie im Mittel für beide Ionenarten um das

No.	Beobachtungszeit	Vorzeich.	E	Q	p	N	n	t	e	f	F	Zeit	Bemerkungen
81	11h 23m — 11h 32m a. m.	—	0,42	−0,02	0,95	1,24	1240	25,8	18,3	17,7	73	11h 30m a. m.	Bewölkt; unmittelb. vorher
82	11 34 — 11 43 „	+	0,40	−0,07	0,85	1,18	1180	25,8	17,8	17,2	71	11 45 „	etwas Regen. Schwacher
83	11 47 — 11 56 „	—	0,47	+0,03	1,06	1,38	1380	27,7	17,7	17,0	63	12 00 „	Wind (Stärke 1) aus NE.
Beginn der Verfinsterung: 12h 1m													
84	12h 5m — 12h 15m p. m.	+	0,50	+0,03	1,06	1,47	1470	27,5	17,5	16,8	63	12h 15m p. m.	Stärkerer Wind (Stärke 2
85	12 16 — 12 26 „	—	0,40	+0,10	1,25	1,18	1180						bis 3) erhebt sich; Himmel
86	12 27 — 12 38 „	+	0,37	−0,03	0,93	1,09	1090	27,8	17,3	16,6	61,5	12 30 „	klart auf. Wolken nur
87	12 40 — 12 49 „	—	0,41	−0,04	0,90	1,21	1210	27,2	19,0	18,2	70	12 45 „	noch am Horizonte.
88	1 2 — 1 11 „	+	0,41	+0,00	1,00	1,21	1210	27,0	18,7	18,0	70	1 00 „	
Vor der Totalität: (vor 1h 22m)				+0,08	1,24								
89	1h 13m — 1h 27m	—	**0,33**	+0,10	1,30	0,97	970	26,2	18,1	17,6	71	1h 15m p. m.	Totalität: 1h22m—1h25m.
Nach der Totalität (nach 1h 25m)													Sonne verschwindet hinter einer großen Haufwolke.
				+0,10	1,30							1h 30m p. m.	Wind flaut allmählich ab
90	1h 29m — 1h 40m p. m.	+	0,43	+0,00	1,00	1,27	1270	25,8	17,6	17,0	70	1 45 „	(Stärke 1 bis 0)
91	1 42 — 1 52 „	—	0,43	+0,00	1,00	1,27	1270	25,6	17,0	16,4	69	2 15 „	
92	1 56 — 2 16 „	+	0,43	−0,01	0,98	1,27	1270	26,2	18,1	17,6	71		
93	2 18 — 2 27 „	—	0,44	−0,12	0,73	1,29	1290	26,5	17,6	17,1	68	2 30 „	
Ende der Verfinsterung: 2h 40m													
94	3h 10m — 3h 20m p. m.	+	0,32	−0,12	0,73	0,94	940	27,4	19,3	18,5	70	3h 15m p. m.	Sonne kommt immer klarer
95	3 22 — 3 31 „	—	0,40	−0,08	0,80	1,18	1180	27,0	19,5	18,8	73	3 30 „	aus den Wolken heraus.
96	3 33 — 3 42 „	+	0,32	−0,08	0,80	0,94	940						Windstille tritt ein.
97	3 44 — 3 53 „	—	0,38	−0,06	0,84	1,12	1120						
98	3 55 — 4 4 „	+	0,38	+0,00	1,00	1,12	1120	27,0	19,1	18,4	71		

2,1 fache; bezüglich der + Ionen allein um das 2,3 fache.

Die Ursache darf man vielleicht in dem oben, S. 644, genannten drei Momenten erblicken.

b) Bemerkenswert ist ferner die auffallend geringe Unipolarität in dem Ionengehalte. Während auf der bayerischen Hochebene normalerweise im Mittel immer wenigstens 0,1 el.-stat. Einheit mehr positive Elektrizität als negative Ladung im cbm der dem Erdboden benachbarten Luft angetroffen wird, ergab sich in Palma am genannten Tage sogar ein negativer Betrag, wenn auch nicht von beträchtlicher absoluter Größe.

Die Größe p erreicht im Binnenlande häufig Werte über 2, hier liegt sie der Einheit so nahe, daß man sagen kann, es waren etwa ebensoviel + Ionen in der untersuchten Luft vorhanden wie — Ionen. Damit steht vielleicht im Zusammenhange der geringe Betrag des Potentialgefälles, welcher am Verfinsterungstage am Beobachtungsorte direkt konstatiert wurde. Denn ein solcher Überschuß der + Ionen über die — Ionen muß einen gewissen Einfluß auf das atmosphärische Potentialgefälle haben; ein solcher Zusammenhang wird ja rücksichtlich der Änderung des Gefälles mit der Höhe bereits durch die Poissonsche Gleichung der Potentialtheorie festgestellt; hiernach würde der oben genannte Überschuß $Q = +0{,}1$ einer Änderung des Gefälles von 3,77 Volt/m für jeden Meter Erhebung entsprechen, ein Wert, der freilich sehr hoch ist und nur in der Nähe des Bodens gelegentlich anzutreffen sein dürfte.

Bereits oben wurde darauf hingewiesen, daß auch die auf freier ruhiger See erhaltenen Werte auf eine sehr geringe Unipolarität der Ionenladung E hindeuten. Hier ist diese Tatsache noch auffallender, da ein mit der Meeresoberfläche in leitender Verbindung stehendes Schiff, mit seinen Hervorragungen, Spitzen und Takelagen wie ein Fangkäfig auf die Ionen wirken muß; das vorhandene Potentialgefälle muß also sehr gering gewesen sein.

Auf dem freien Meere, ebenso wie an der Küste, ist bei ruhigem Wetter eben jener Prozeß abgestellt oder doch in seiner Wirksamkeit wesentlich gedämpft, welcher auf dem Festlande mit einem größeren Überschusse an positiven Ionen zugleich ein erheblich höheres Spannungsfeld erzeugt, als über den ozeanischen Gebieten. Der Verfasser[1]) glaubt diesen Prozeß in einer Eigentümlichkeit des Diffusionsvorganges der Ionen und ionenerzeugenden Emanationen bei ihrer Wanderung durch die Kapillaren des leitenden Erdreiches erblicken zu sollen, der zufolge (wegen der überwiegenden Adsorption der — Ionen) aus dem Boden bei der Transpiration der Bodenluft ein Überschuß an + Ionen in die darüber liegende freie Atmosphäre entweicht, der Boden selbst gegen die Atmosphäre also negativ geladen zurückbleiben muß. Wo dieser Transpirationsprozeß behindert ist, muß mit der Abnahme der freiwerdenden Ionenzahl überhaupt, namentlich auch diese Unipolarität und damit im Zusammenhange auch der Betrag der Spannungswerte zurückgehen.

Dabei können die „Zerstreuungswerte" immerhin groß sein, weil sie nicht nur von der Ionendichte, sondern auch von den Wanderungsgeschwindigkeiten abhängen.

c) Was nun endlich den Einfluß der Verfinsterung der Sonne selbst betrifft, so durfte hier von vornherein nur wenig erwartet werden. Wie die Bemerkungen am Rande der Tabelle zeigen, war das Wetter sehr wechselnd. Am Morgen des 30. August bedeckte in Palma eine dichte Wolkendecke den ganzen Himmel; gegen 11 Uhr fing es sogar schwach zu regnen an, so daß alle Hoffnung, von den Phänomenen der Totalität etwas zu sehen, dahinschwand. Um Mittag aber riß der Wolkenschleier auf, so daß der Beginn und das Fortschreiten der Verfinsterung verfolgt werden konnte. Unterdessen hatte sich ziemlich heftiger Wind erhoben und neue Wolken zogen heran. Zur Zeit der Totalität stand die Sonne gerade noch in einer Wolkenlücke, fünf Minuten nachher war sie hinter einer dichten Kumuluswolke verschwunden. Erst nach Beendigung der Verfinsterung trat die Sonne wieder hervor, während unterdessen der Wind (der auch seine Richtung gewechselt hatte) abflaute. Es ist klar, daß bei solch unbeständigen Witterungsbedingungen das Vorbeiziehen des immerhin schmalen Schattenkegels des Mondes nur einen untergeordneten Einfluß ausüben konnte, der vielleicht deutlich hervorgetreten wäre, wenn der betreffende Tag weniger gestört gewesen wäre. Es lässt sich demzufolge auch kein Gang weder in den luftelektrischen, noch in den meteorologischen Daten erkennen und wo ein solcher angedeutet ist, dürfte er weit eher durch die geschilderte zeitliche Änderung der allgemeinen Wetterlage als durch die Bedeckung der Sonnenscheibe bedingt sein. Nur dem während der Totalität selbst erhaltenen Werte $E_- = 0{,}33$ glaube ich eine gewisse Bedeutung beimessen zu sollen. Vergleicht man den bei der 89. Beobachtung erhaltenen Wert mit den zeitlich benachbarten Werten (Nr. 85, 87 und 91, 93), so sieht man, daß sich während oder unmittelbar nach der Totalität die Zahl der von dem Apparat angezeigten Ionen negativen Zeichens merklich vermindert hat (etwa im Verhältnisse von 4 zu 5). In

1) Vergl. H. Ebert, diese Zeitschrift **5**, 135 und 499, 1904, sowie Meteorolog. Zeitschrift 201, 1904.

Wirklichkeit könnte das Herabgehen der Zahlen für die — Ionen noch wesentlich größer gewesen sein als es durch dieses Verhältnis zum Ausdruck kommt. Wie man sieht, erstreckt sich das Beobachtungsintervall über 14 Minuten, während die Totalität ja nur 3 Minuten dauerte. Es könnte also der Einfluß der letzteren durch die Zustände, welche namentlich vor der Totalität statthatten, verwischt sein. Durch die Messungen ist also ein Rückgang in der Zahl der — Ionen während oder nach der Totalität angezeigt.

Es fragt sich nun, ob wir hier einen direkten Einfluß des abgeblendeten Sonnenlichtes auf den ionenbildenden Prozeß vor uns haben, oder ob diese Beobachtungstatsache nicht auch zum Teil wenigstens einer indirekten Ursache zugeschrieben werden könnte. Durch das Eintreten des Mondschattens in die Atmosphäre wird eine lokale Abkühlung bedingt. Von dieser läßt zwar das Aspirationsthermometer nur wenig erkennen (das gleichmäßige Herabgehen der Temperatur dürfte eher dem Herannahen des Wolkenschattens und der zunehmenden allgemeinen Trübung zuzuschreiben sein. Ein nicht aspiriertes, aber ebenfalls vor der direkten Sonnenstrahlung geschütztes anderes Thermometer ergab einen Temperatursturz von rund 8 Grad). Jedenfalls können in den vom Mondschatten erreichten Partien des Luftmeeres partielle Kondensationen des Wasserdampfes stattgefunden haben, die freilich schnell wieder aufgehoben wurden, so daß sie das Aspirations-Psychrometer unberührt lassen konnten. Wie bekannt, sind nun gerade die Ionen besonders geeignet als Kerne bei der Kondensation zu dienen. Eine größere Anzahl derselben kann sich also vorübergehend mit Wasserdampf beladen haben, wodurch ihre Beweglichkeit erheblich herabgesetzt werden mußte. Jetzt konnte eine größere Zahl dieser Ionen durch das elektrische Spannungsfeld des Apparates hindurchschlüpfen, der, wie oben S. 641 bereits erwähnt, aus der aspirierten Luft alle Ionen nur herausnimmt, wenn ihre Wanderungsgeschwindigkeit von der Ordnung der gewöhnlichen „Gasionen" ist.

Wir hätten hier somit einen indirekten Einfluß der Sonnenverfinsterung auf die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen, durch die Abkühlung der beschatteten Atmosphäre bedingt, vor uns.

Die Wirkung ist nicht unähnlich derjenigen, welche beim Einbrechen der Nacht häufig beobachtet wird. Auch hierbei geht sowohl die Dichte, namentlich der negativen Ionen, sowie ihre Wanderungsgeschwindigkeit zurück; dies findet seinen Ausdruck in der bekannten Tatsache, daß die Zerstreuungswerte besonders bei positiver Ladung des Zerstreuungskörpers am Abend durchschnittlich sehr klein werden.

München, September 1905.

(Eingegangen 3. Oktober 1905).

Der Elektrizitätshaushalt der Erde und der unteren Schichten der Atmosphäre.

Von H. Gerdien.

In jüngster Zeit ist die Frage nach dem Ursprung und der Unterhaltung des elektrischen Feldes der Atmosphäre und der negativen Ladung der Erde wieder in den Vordergrund des Interesses getreten; bei der fundamentalen Bedeutung dieser Frage für den weiteren Ausbau unserer Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität, erscheint es nicht unangebracht, vor dem Eintritt in die Diskussion der in Betracht kommenden Hypothesen einmal die experimentellen und theoretischen Grundlagen des Problems in Kürze klarzulegen.[1])

An heiteren Tagen herrscht in den unteren Schichten der Atmosphäre ein elektrisches Feld, dessen Richtung einer negativen Ladung der Erde und einer positiven Ladung der Luft entspricht. Die Größenordnung des Potentialgefälles am Erdboden ist 100 Volt/Meter; dasselbe nimmt mit wachsender Höhe über dem Boden ab und erreicht in 1000 m Höhe etwa 25 Volt/Meter, in 3000 m etwa 10 Volt/Meter. Bewölkung, Staub- und Dunstschichten können in den geringeren Höhen zu einem sehr verwickelten Verlauf des Gefälles Anlaß geben — über etwa 3000 m dagegen ist mit größerer Wahrscheinlichkeit auf einen regelmäßigen Verlauf zu rechnen derart, daß die Abnahme des Gefälles bis zu etwa 6000 m Höhe zwar fortbesteht, aber einen weit kleineren Betrag zeigt als in den unteren Schichten; über den Verlauf des Feldes in Höhen über 6000 m liegen noch keine Messungen vor.[2])

Da horizontale Feldkomponenten im allgemeinen neben der vertikalen Komponente und ebenso die räumlichen Änderungen der horizontalen Feldkomponenten neben der Änderung der vertikalen Komponente nicht in Betracht kommen, ergibt sich die räumliche Dichte der Ladung zu

$$\varrho = -\frac{d^2 V}{d h^2} / 4\pi,$$

worin V das Potential aller wirksamen elektrischen Ladungen im Aufpunkt, h (nach oben

1) Winkelmann, Handbuch der Physik, II. Aufl. **4**, 687—729; H. Gerdien, „Die atmosphärische Elektrizität". Dort findet man einen Literaturnachweis, der die meisten hier in Betracht kommenden Publikationen enthält.

2) F. Linke, Abhandl. d. K. Ges. d. Wiss. zu Göttingen, N. F. **3**, Nr. 4, 1904; H. Gerdien, Gött. Nachr. 1904, 277—299; ibid. 1905, Heft 3.

positiv gerechnet) die Höhe des Aufpunktes über der Erdoberfläche bedeutet. Nimmt man zum Zweck einer Schätzung die Abnahme des Potentialgefälles in den untersten Schichten auf rund $^1/_{10}$ Volt/m² an, so ergibt sich für diese eine räumliche Dichte von $2{,}7 \cdot 10^{-9}$ abs. Einheiten oder $2{,}7 \cdot 10^{-3}$ elektrostatische Einheiten im Kubikmeter; für die Schichten zwischen 1000 und 3000 m Höhe ergibt sich im Mittel etwa $^1/_{10}$ dieses Wertes und für die Schichten zwischen 3000 und 6000 m Höhe dürfte $^3/_{100}$ desselben zutreffend sein.

Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre wird aufrecht erhalten durch eine Reihe von Ionisatoren (und Elektrisatoren), deren wichtigste für die untersten Schichten die radioaktiven sind; die neugebildeten Ionen verschwinden zum Teil durch Wiedervereinigung (Molisierung), zum Teil durch Fortführung an die Elektrode (Erdboden) und zum Teil durch Adsorption an Staub- und Dunstteilchen. Das Gleichgewicht zwischen den Ionen erzeugenden und Ionen verzehrenden Prozessen ist ein von dem Zustande der Luft in verwickelter Weise abhängiges und schwankendes; im Mittel darf man für Schätzungen die Ladung der im Kubikzentimeter enthaltenen positiven oder negativen Ionen zu rund $0{,}25 \cdot 10^{-6}$ elektrost. Einheiten ansetzen. Die spezifische Geschwindigkeit der positiven Ionen[1]) beträgt unter normalen Umständen rund 1,3 cm/sec/Volt/cm (1,3 . 300 abs. Einh.), die der negativen Ionen je nach der relativen Feuchtigkeit 1,5—1,7, rund 1,6 cm/sec/Volt/cm (1,6 . 300 abs. Einh.), für die spezifische Leitfähigkeit erhält man also am Boden im Mittel

$$\lambda = (0{,}25 \cdot 10^{-6},\ 1{,}3 \cdot 300 + 0{,}25 \cdot 10^{-6},\ 1{,}6 \cdot 300) = 2{,}2 \cdot 10^{-4} \text{ elektrost. Einh.}$$

In dieser Schätzung sind die spezifischen Zahlen der positiven und negativen Ionen einander gleichgesetzt; der aus dem vertikalen Verlauf des Potentialgefälles geschätzte Überschuß an positiver räumlicher Dichte würde, falls ausschließlich Ionen von den angenommenen spezifischen Geschwindigkeiten in der Atmosphäre vorhanden wären, mittels des Ebertschen Ionenzählers[2]) nicht nachweisbar sein, da er weit unter der Grenze der Genauigkeit dieses Instrumentes liegt. Tatsächlich sind aber Überschüsse an positiven Ionenladungen mittels des Ionenzählers beobachtet worden, welche die aus dem Verlaufe des Potentialgefälles geschätzte räumliche Ladungsdichte um das 30 bis 50fache übertreffen. Es ist zurzeit noch nicht möglich, auf Grund experimenteller Resultate die Erklärung dieses Befundes zu geben; man kann lediglich nach drei Richtungen Vermutungen äußern: 1. Es könnte die Abnahme des Potentialgefälles in der unmittelbaren Nachbarschaft des Bodens eine weit stärkere sein, als man bisher aus den immer erst in einiger Höhe über dem Boden durchführbaren Potentialgefällemessungen im Freiballon extrapoliert hat; zur Erklärung des beobachteten Überschusses an positiven Ionenladungen wäre allerdings eine Abnahme des Potentialgefälles um 3 bis 5 Volt/m² notwendig, die immerhin bei den Gefällemessungen am Boden hätte bemerkt werden können und auch insofern unwahrscheinlich ist, als sie starke räumliche Ladungen in unmittelbarer Nachbarschaft des Bodens und erheblich schwächere Ladungen in geringer Höhe darüber voraussetzt — eine Verteilung, die bei der im allgemeinen lebhaften Durchmischung der untersten Schichten unserer Atmosphäre sich schwerlich längere Zeit erhalten könnte; 2. es könnten neben den gewöhnlichen Luftionen von der oben angegebenen spezifischen Geschwindigkeit noch weitere elektrische Ladungen in der Luft vorhanden sein, die an so schwer bewegliche Träger gebunden sind, daß sie bei der Ionengehalts-Messung mittels des Ebertschen Apparates nicht vollzählig auf der inneren Elektrode des Zylinderkondensators niedergeschlagen werden. In der Tat ist die Existenz solcher schwer beweglicher Ladungen in der Atmosphäre zu erwarten; durch Adsorption an Staubteilchen und Wassertröpfchen wird die spez. Geschwindigkeit der Luftionen auf Werte herabgedrückt werden müssen, die von einer ganz anderen Größenordnung sind als die ursprünglich den freien Ionen zukommenden; solche schwer bewegliche Ionen werden weit beständigere Eigenschaften zeigen als die leicht beweglichen Luftionen, denn sie werden einerseits nur mit außerordentlich kleinen Geschwindigkeiten im elektrischen Felde fortgeführt und andererseits nur in verschwindendem Betrage durch Molisierung mit leicht oder schwer beweglichen Ionen des ungleichnamigen Vorzeichens neutralisiert werden müssen, da auch die Konstante der Wiedervereinigung entsprechend der geringeren spez. Geschwindigkeit dieser Ionen herabgemindert werden muß. In der Tat ist die Existenz solcher Ionen in der Atmosphäre kürzlich von P. Langevin[1]) nachgewiesen worden; 3. durch die Aufstellung des Aspirationsapparates selbst wird in der Regel das quasi-homogene elektrische Feld der Atmo-

1) H. Gerdien, diese Zeitschr. **4**, 632–635, 1903; Gött. Nachr. 1903, 382—399; 1904, 277—299; 1905, Heft 3; Terr. Magn. **10**, 65—79, 1905; H. Mache, diese Zeitschr. **4**, 717—721, 1903; H. Mache u. E. v. Schweidler, diese Zeitschr. **6**, 71—73, 1905.

2) H. Ebert, Arch. de Genève (4) **12**, 97, 1901; diese Zeitschr. **2**, 662, 1901; Illustr. aeron. Mitteilgn. **6**, 178, 1902; Ber. d. D. Phys. Ges. 1905, Heft 2.

1) P. Langevin, Compte rend. Jan. 1905; Soc. fr. de Phys. No. 219, 4—7, 1904.

sphäre in ein merklich inhomogenes Feld verwandelt werden müssen derart, daß z. B. bei Aufstellung des Apparates über ebenem Boden die Potentialflächen sich über dem Apparat zusammendrängen und in der Nachbarschaft sich mehr und mehr der Ebene anschmiegen. Im normalen atmosphärischen Felde wird also eine negative Influenzladung auf der Oberfläche des Apparates erzeugt, welche zur Ansammlung positiver räumlicher Ladungen in der umgebenden Luft Anlaß gibt; diese müssen wachsen mit steigendem influenzierenden Felde und mit abnehmender Geschwindigkeit der Luftbewegung, denn bei sehr starker Luftströmung wird der natürlich vorhandene Gehalt an positiven und negativen Ladungen am wenigsten geändert werden können. Für den Zerstreuungsapparat ist eine solche Beeinflussung seiner Umgebung durch die auf dem Apparat im atmosphärischen Felde influenzierte Ladung durch Versuche von J. Elster u. H. Geitel[1]) wahrscheinlich gemacht worden; auch zeigen die Zerstreuungsbeobachtungen durchaus die oben für den Ebertschen Aspirationsapparat vermutete Abhängigkeit der Angaben von Potentialgefälle und Windgeschwindigkeit, die sich in dem vielfach in wenig klarer Weise diskutierten Verhalten des Quotienten $a-/a+ = q$ ausdrückt. Dieses Verhalten des Zerstreuungsapparates wird ohne weiteres verständlich, wenn man berücksichtigt, daß er nicht ein Maß für die Anteile der positiven und negativen Ionen an der spezifischen Leitfähigkeit der Luft liefert, sondern vielmehr nahezu so wirkt wie ein Ebertscher Apparat, dessen Fördermenge aber unbekannt ist.[2])

Es muß nach diesen Darlegungen also geschlossen werden, daß durch den bei Ionengehaltsmessungen gefundenen merklichen Überschuß an positiven Ionen keineswegs die Existenz einer entsprechenden unter normalen Umständen bestehenden räumlichen Ladungsdichte erwiesen ist; vielmehr muß als allein zuverlässige Methode zur Messung der wirklichen räumlichen Ladungsdichte die Messung des vertikalen Gradienten des Potentialgefälles betrachtet werden.

Damit sind die Grundlagen für die Berechnung der Stromdichte der elektrischen Strömung in den untersten Schichten der Atmosphäre entwickelt. Diese setzt sich zusammen aus dem Leitungsstrom und dem Konvektionsstrom.[3]) Die Komponenten der Stromdichte j nach den Achsen eines rechtwinkligen Koordinatensystems sind:

$$\left.\begin{aligned} jx &= -\frac{dV}{dx}\cdot\lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{kx},\\ jy &= -\frac{dV}{dy}\cdot\lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{ky},\\ jz &= -\frac{dV}{dz}\cdot\lambda + \sum_1^k \varrho_k G_{kz}, \end{aligned}\right| \qquad (1)$$

worin V und λ die oben erklärte Bedeutung haben und ϱ_k die räumliche Ladungsdichte von der Geschwindigkeit G_k bezeichnet; die ϱ_k müssen dabei der Bedingung genügen:

$$\Sigma \varrho_k = -\frac{\triangle V}{4\pi}. \qquad (2)$$

Faßt man unter den hier als Komponenten des Konvektionsstroms bezeichneten Gliedern den Transport aller möglichen räumlichen Ladungen in der Atmosphäre (z. B. Konvektion durch Luftbewegung, durch Niederschläge) zusammen, soweit er von dem Potentialgefälle unbeeinflußt verläuft, so stellt das System (1) die Dichte des Gesamtstromes vollständig dar.

Die horizontalen Komponenten der Strömung. Die horizontalen Komponenten des Leitungsstromes dürften im allgemeinen in den untersten Schichten der Atmosphäre neben denjenigen des Konvektionsstromes zu vernachlässigen sein, denn es sind bisher keine merklichen horizontalen Potentialgefälle-Komponenten nachgewiesen worden; beträchtliche Werte dürften diese — und damit auch die Horizontalkomponenten des Leitungsstromes — nur in Verbindung mit Niederschlägen zeigen. Dagegen kann der horizontale Konvektionsstrom erhebliche Beträge erreichen: nehmen wir für die räumliche Ladungsdichte den oben geschätzten Wert $2{,}7\cdot10^{-9}$ elektrost. Einheiten an, so ergibt sich schon für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/sec eine horizontale Komponente der Konvektionsstromdichte am Boden von $2{,}7\cdot10^{-7}$ elektrost. Einheiten oder $0{,}9\cdot10^{-16}$ Amp/cm². Die mittlere horizontale Komponente des Konvektionsstromes dürfte bis zu Höhen von 3000 m nur eine geringe Abnahme zeigen, da die Abnahme der mittleren räumlichen Ladungsdichte zum Teil durch die Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit mit der Höhe ausgeglichen wird.[1]) Innerhalb von Wolken, Dunstschichten und Nebeldecken, wo große räumliche Ladungsdichten vorkommen, muß die horizontale Komponente des Konvektionsstromes erheblich größere Werte annehmen können. In dieser an Kondensationsprodukte gebundenen Form wird der horizontale Konvektionsstrom noch in Höhen über 3000 m erhebliche Beträge erlangen können.

1) J. Elster u. H. Geitel, Gött. Nachr. 1902, S. 8.
2) H. Schering, Dissert. Göttingen, 1904.
3) H. Gerdien, Terr. Magn. 10, 65—79, 1905.

1) Auf die besonderen Verhältnisse, welche offenbar im Hochgebirge obwalten, kann hier nicht näher eingegangen werden, da hier vorerst noch die Grundlage eines quantitativ verwertbaren Beobachtungsmaterials fehlt.

Die vertikale Komponente der Strömung. Weit größere Bedeutung als den horizontalen Stromkomponenten kommt der vertikalen Komponente zu, da sie den Elektrizitätsaustausch zwischen Erde und Atmosphäre und zwischen den oberen und unteren Schichten der Atmosphäre darstellt, dessen quantitative Erforschung ein Hauptproblem der atmosphärischen Elektrizität bildet. Die Dichte des vertikalen Leitungsstromes am Boden läßt sich aus der oben angegebenen spezifischen Leitfähigkeit $\lambda = 2{,}2 \cdot 10^{-4}$ elektrost. und einem zu 100 Volt/m angenommenen mittleren Potentialgefälle zu $2{,}2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{1}{300} = 7{,}3 \cdot 10^{-7}$ elektrost. Einh. oder $2{,}4 \cdot 10^{-16}$ Amp/cm² schätzen; die vertikale Leitungsstromdichte — und damit im allgemeinen, wie sogleich gezeigt werden wird, auch die gesamte Stromdichte des Vertikalstroms am Boden — ist also von der gleichen Größenordnung wie die horizontale Konvektionsstromdichte, die ihrerseits im allgemeinen mit der horizontalen Gesamtstromdichte identisch ist. Der vertikale Leitungsstrom, der im normalen elektrischen Felde der Atmosphäre dauernd positive Ladungen der Erde zuführt, besteht wohl in merklich unveränderter mittlerer Dichte bis zu Höhen von 3000 m, da die Abnahme des Potentialgefälles mit der Höhe nahezu durch die Zunahme der Leitfähigkeit ausgeglichen wird. In größeren Höhen bis zu etwa 6000 m scheint nach meinen Messungen eine Abnahme der vertikalen Leitungsstromdichte zu bestehen. In Wolken, Dunstschichten und Nebeldecken dürfte der vertikale Leitungsstrom nur wenig vermindert werden, da nach Eintreten eines stationären Zustandes die Verminderung der Leitfähigkeit durch ein Anwachsen des Potentialgefälles innerhalb der an Adsorptionskernen reichen Schicht vermutlich nahezu aufgewogen wird.

Bei der Diskussion der Dichte des vertikalen Konvektionsstromes müssen im wesentlichen zwei Fälle unterschieden werden: 1. der gewöhnliche Konvektionsstrom, der durch Transport der normalen räumlichen Ladungsdichte unterhalten wird, und 2. der von geladenen Kondensationsprodukten des Wasserdampfes in der Atmosphäre vermittelte Elektrizitätstransport beim Falle von Niederschlägen. Über den normalen vertikalen Konvektionsstrom lassen sich zurzeit nur sehr unsichere Angaben machen, da über die in Betracht kommende Vertikalgeschwindigkeit der Luftbewegung nur äußerst unzulängliches Material vorhanden ist.[1]) Nimmt man, um eine obere Grenze für den absoluten Wert des vertikalen Konvektionsstromes bei niederschlagsfreier Witterung zu gewinnen, eine maximale Vertikalkomponente der Luftbewegung von 10 cm/sec an, so ergibt sich für die Dichte dieses Vertikalstromes aus der oben begründeten Annahme über die räumliche Ladungsdichte der Luft $2{,}7 \cdot 10^{-8}$ elektrost. Einheiten oder $9 \cdot 10^{-18}$ Amp/cm², sie wird also im Maximum etwa 3% der Dichte des normalen vertikalen Leitungsstromes erreichen können. In Wolken, Dunst- und Nebelschichten, wo durch Ionenadsorption räumliche Ladungsdichten erzeugt werden, die den oben für merklich ungetrübte Luft geschätzten Wert um das 50fache und mehr übersteigen, wird zuweilen der vertikale Konvektionsstrom dem absoluten Werte nach wohl den Leitungsstrom erreichen und übertreffen können. In zwei wichtigen Fällen läßt sich jedoch nachweisen, daß der vertikale Konvektionsstrom neben dem Leitungsstrom jede Bedeutung verliert: 1. in unmittelbarer Nähe des Erdbodens, 2. in Höhen über etwa 3000 m. Am Erdboden ist nämlich zwar die räumliche Ladungsdichte von erheblichem Betrage, aber die vertikale Komponente der Luftgeschwindigkeit beschränkt sich auf diejenigen verschwindend kleinen Werte (siehe unten!), welche durch den Luftaustausch zwischen der Atmosphäre und den in den Hohlräumen des Erdbodens eingeschlossenen Luftmassen bedingt sind. In Höhen über 3000 m kommen andererseits wohl starke Vertikalkomponenten der Luftbewegnng vor, jedoch ist die räumliche Ladungsdichte hier schon so gering, daß sie den Betrag des normalen vertikalen Konvektionsstromes merklich zu Null macht.

Die Bedeutung des normalen vertikalen Konvektionsstromes für den Elektrizitätshaushalt der unteren Schichten der Atmosphäre ist eine sehr geringe; denn es ist notwendig das Integral

$$\int_o G_n \, do$$

erstreckt über jede geschlossene, die Erde umgebende Fläche gleicher Dichte der Luft (G_n Geschwindigkeit der Luftbewegung nach der Normalen der Fläche, do Oberflächenelement) gleich Null, da dauernde Abnahme oder Zunahme des mittleren Luftdruckes nicht beobachtet ist. Es muß also auch das Integral

$$\int_o \sum_1^k \varrho_k \cdot G_{k\,n} \, do,$$

welches den gesamten normalen Konvektionsstrom, der durch diese Fläche tritt, darstellt, seinem absoluten Werte nach (für positive ϱ_k, die hier allein in Betracht kommen) klein sein gegen das Integral

$$\int_o \sum_1^k |\varrho_k \cdot G_{k\,n}| \, do,$$

sofern die in aufsteigenden Luftströmen trans-

1) H. Gerdien, Jahrb. d. Radiokt. u. Elektr. 1, 24—39, 1904; H. Elias, Illustr. aeron. Mittlgn. 8, 394—396, 1904.

portierten Ladungsdichten der Größenordnung nach mit den in absteigenden Luftströmen transportierten übereinstimmen. Wir sind zurzeit noch nicht in der Lage, die in den großen atmosphärischen Strömungen in aufsteigender und absteigender Richtung transportierten Ladungen gegeneinander abzuschätzen; dehnt man aber die für unsere Breiten gültige Erfahrung, daß bei anticyklonaler Wetterlage starkes Potentialgefälle am Boden und deshalb, da die niedrigen Werte des Gefalles bei cyklonaler und anticyklonaler Wetterlage nahezu in den gleichen Höhen einzusetzen scheinen, auch stärkere Abnahme des Gefälles, also stärkere räumliche Ladungsdichte zu bestehen pflegt, auch auf die großen tropischen, subtropischen und polaren Wirbel aus, so wird der normale Konvektionsstrom positiver Ladungen mit absteigender Luftbewegung wahrscheinlich etwas größer ausfallen, als der Transport positiver Ladungen von unten nach oben — es würde also die Gesamtwirkung des normalen Konvektionsstromes im gleichen Sinne erfolgen, wie diejenige des normalen Leitungsstromes, welcher dauernd positive Ladung aus der Atmosphäre dem Erdboden zuführt.

Wesentlich größere Bedeutung als der normale Konvektionsstrom scheint der bei Niederschlägen auftretende Konvektionsstrom für den Elektrizitätshaushalt der unteren Schichten der Atmosphäre zu besitzen. Die ersten quantitativen Arbeiten über diesen wichtigen Gegenstand rühren von J. Elster und H. Geitel[1]) her, deren Methode zur Messung der Eigenelektrizität der Niederschläge mit unwesentlichen Änderungen auch von mir verwendet wurde. Es hat sich gezeigt, daß schon bei den Niederschlägen vom Landregentypus, welche die schwächsten Ladungen zur Erde führen, Stromdichten von 10^{-14} Amp/cm^2 erreicht werden können. Zwar ist das Vorzeichen der Ladung häufigem Wechsel unterworfen, jedoch überwiegt die Gesamtmenge der negativen Ladung im allgemeinen diejenige der positiven. Bei den Niederschlägen vom Böentypus kommen erheblich schneller schwankende und größere Niederschlagsladungen vor; die Stromdichten sind hier von der Größenordnung 10^{-13} Amp/cm^2. Hier ist auch die Ausbeute an negativer, der Erde zugeführter Ladung eine erheblich größere als bei den Niederschlägen vom Landregentypus. Die stärksten Niederschlagsladungen werden bei Gewittern erzeugt, hier erreicht und übersteigt die Stromdichte nicht selten das Zehnfache der bei böigen Niederschlägen vorkommenden. Infolge der schnellen Schwankungen des Stromes sind die Messungen nur mit geringer Genauigkeit durchführbar, doch ist im allgemeinen auch bei Gewittern ein Überschuß an negativer Ladung der Niederschläge vorhanden.

Hypothesen zum Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre. Auf die älteren Hypothesen, welche sich mit der Erklärung des elektrischen Feldes der Atmosphäre beschäftigen, kann hier nicht eingegangen werden, da sie zu einer Zeit aufgestellt wurden, als man noch völlig im unklaren war über die Größe der Leitfähigkeit der Atmosphäre und damit nur der Aufgabe genügen wollte, den Ursprung und die Änderungen des Potentialgefälles zu erklären, während es sich nach dem heutigen Stande unserer Kenntnis der atmosphärischen Elektrizität darum handelt, die Energiequellen und ihre Wirkungsweise aufzudecken, welche den in der Atmosphäre bestehenden vertikalen Leitungsstrom unterhalten. Die erste Hypothese, welche diesen Anforderungen gerecht zu werden versuchte, war die Elster-Geitelsche Adsorptionshypothese[1]); darnach sollten infolge der größeren Diffusionsgeschwindigkeit der negativen Ionen an der leitenden Erdoberfläche durch Adsorption in gleichen Zeiten mehr negative als positive Ionen gebunden werden; insbesondere sollte dieser Vorgang an denjenigen Stellen der Erdoberfläche stattfinden, die durch Vegetation gegen das elektrische Feld der Atmosphäre abgeschützt sind, an welchen daher negative Ionen ungehindert durch das entgegenwirkende Feld einwandern könnten. Diese Hypothese stützt sich auf Versuche von Zeleny; auch andere Forscher glaubten die Grundlage dieser Hypothese durch Versuche befestigen zu können, bei welchen frei der Luft ausgesetzte, isolierte Körper eine negative Ladung angenommen haben sollten. In der Tat schien eine recht befriedigende Hypothese des atmosphärischen Elektrizitätshaushalts gefunden zu sein, die sich auch fast allgemeiner Anerkennung erfreut hat. Dennoch war ihre physikalische Grundlage nur unter recht beschränkenden Bedingungen gerechtfertigt. Findet nämlich irgendwo an der Grenze eines Leiters gegen ein Gas Adsorption der negativen Ionen statt, so muß notwendig, wenn vorher gleiche Anzahlen positiver und negativer Ionen vorhanden waren, im Gase eine positive räumliche Ladung entstehen, d. h. es muß ein elektrisches Feld erregt werden, welches den Prozeß der Adsorption negativer Ionen zu erschweren und positive Ionen aus dem Gase gegen den Leiter hin zu treiben strebt. Wird also die positive Ladung im Gase nicht auf irgendeine Weise beseitigt, so muß sich ein Gleichgewichtszustand

1) J. Elster u. H. Geitel, Terr. Magn. **4**, 15—32, 1899; H. Gerdien, Münchn. Ber. **33**, 367—379, 1903; diese Zeitschr. **4**, 837—842, 1903; Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. 1, 24—39, 1904.

1) J. Elster u. H. Geitel, Terr. Magn. **4**, 223—234, 1899.

herstellen, sobald das entstehende Feld stark genug geworden ist, um die weitere Adsorption negativer Ionen zu verhindern. Wird dagegen die positive räumliche Ladung — etwa durch Konvektion — stets fortgeschafft und dafür neue ionisierte Luft an die Grenze des Leiters herangeführt, so kann in dem besonderen Falle dauernd negative Ladung dem Leiter zufließen, daß das Feld, welches durch seine Aufladung entsteht, an der Einwirkung auf das neu zugeführte ionisierte Gas verhindert wird. Dieser Fall liegt vor, wenn ein ionisiertes Gas mit hinreichender Geschwindigkeit einen Hohlraum des adsorbierenden Leiters durchströmt; die Geschwindigkeit des Gasstromes muß dabei so groß sein, daß bei den gegebenen Dimensionen des Hohlraumes zwar negative Ionen aus dem Gasstrome gegen die Wand hin diffundieren können, daß aber ein merklicher Teil der positiven Ionen den Hohlraum passiert, ohne von dem entstehenden Felde gegen seine Wände getrieben zu werden. Handelt es sich um ein Gas, das vor seinem Eintritt in den Hohlraum ionisiert wurde und dann sich selbst überlassen blieb, so wird außer dem Verlust an Ionen durch Molisierung nicht nur der Rest der negativen Ionen durch Adsorption gebunden werden können, sondern es wird auch bei geeigneten Dimensionen des Hohlraumes und genügend geringer Geschwindigkeit des Gasstromes möglich sein, daß der Rest der positiven Ionen ebenfalls vollkommen absorbiert wird — mithin dem adsorbierenden Leiter keine Ladung zugeführt wird. Soll der Leiter aber negativ aufgeladen werden, so wird die Geschwindigkeit des Gasstromes um so größer sein müssen, je enger und länger der durchströmte Hohlraum ist. Diese Überlegungen konnte G. C. Simpson[1]) durch Versuche bestätigen; ihm gelang es nicht, eine nachweisbare negative Ladung auf isolierten Leitern zu erhalten, die frei der ruhenden oder bewegten Luft ausgesetzt waren — nur wenn das ionisierte Gas unter den oben erörterten Bedingungen einen Hohlraum des Leiters durchströmte, konnte er eine negative Ladung durch Adsorption nachweisen. Ein weiterer wichtiger Fall, in welchem Aufladung eines Leiters durch Ionenadsorption stattfinden kann, tritt dann ein, wenn die Ionisierung des den Hohlraum durchströmenden Gases nicht nur außerhalb, sondern auch innerhalb des Hohlraumes erfolgt; in diesem Falle wird offenbar, bei gegebenen Dimensionen des Hohlraumes, keine untere Grenze für die Gasgeschwindigkeit existieren, bei der die Aufladung des Leiters durch adsorbierte negative Ionen nicht mehr gelingt, weil nunmehr bis zum Austrittsquerschnitt hin ionisiertes Gas vorhanden ist, aus dem zwar auf einem großen Wege durch einen entsprechend langen und engen Hohlraum merklich beide Ionenarten durch Adsorption entfernt werden können, nicht aber alle Ionen adsorbiert werden müssen, da von den in der Nähe des Austrittsquerschnitts erzeugten Ionen ein Überschuß von negativen die Wand des Hohlraumes erreicht, während die entsprechende Anzahl positiver Ionen aus dem Hohlraum entweicht. Der Wirkungsgrad eines solchen Adsorptionsvorganges wird um so geringer sein müssen, je enger der Austrittsquerschnitt und je kleiner die Gasgeschwindigkeit in diesem ist. Für die unteren, dem Erdboden unmittelbar benachbarten Schichten der Atmosphäre kommt der zweite hier behandelte Fall in Betracht, bei welchem die Ionisierung der Luft auch innerhalb der durchströmten Hohlräume erfolgt; es könnte also in diesen Schichten bei jeder noch so kleinen Luftgeschwindigkeit Adsorption von negativen Ionen im Überschuß stattfinden — allerdings ist ohne weiteres ersichtlich, daß dieser Vorgang nur unter besonderen Bedingungen, die selten auf der Erdoberfläche erfüllt sein dürften, statthaben kann. Nimmt man aber auch an, daß tatsächlich durch den Adsorptionsprozeß eine merkliche positive Ladung den unteren Schichten der Atmosphäre mitgeteilt wird, so fehlt doch für den Transport dieser Ladungen, entgegen dem elektrischen Felde der Atmosphäre bis in Höhen von 3000 m, jede Erklärung, dazu müßte der normale vertikale Konvektionsstrom, integriert über eine die Erde umschließende Fläche im Mittel die entgegengesetzte gleiche Ladung nach oben transportieren, welche von dem normalen vertikalen Leitungsstrom nach unten geschafft wird, was, wie oben gezeigt wurde, nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnis dieser Strömungsvorgänge ausgeschlossen erscheint.

Die Elster-Geitelsche Adsorptionshypothese hat H. Ebert[1]) durch eine Modifikation zur Erklärung des normalen atmosphärischen Potentialgefälles und der negativen Erdladung brauchbar zu machen versucht. Diese Modifikation der Elster-Geitelschen Hypothese, die man in der Literatur des letzten Jahres vielfach als die „Ebertsche Theorie" bezeichnet findet, soll im folgenden einer eingehenden Prüfung unterzogen werden. Nach Elster-Geitel ist in den Hohlräumen des Erdbodens stark ionisierte Luft vorhanden, welche bei sinkendem Barometerstand aus dem Boden in die Atmosphäre übertritt; H. Ebert macht nun die Annahme, daß die ionenreiche Bodenluft beim Durchströmen der Erdbodenkapillaren durch Adsorption mehr negative als positive Ionen an die Wände der Kanäle abgibt und so

1) G. C. Simpson, Phil. Mag. (6) **6**, 589—598, 1903.

1) H. Ebert, diese Zeitschr. **5**, 135—140, 1904; Met. Zeitschr. **21**, 201—213, 1904.

einen Überschuß von positiven Ionen in die Atmosphäre führt, der dann durch „Winde, aufsteigende Luftströme und Diffusion auch den höheren Schichten mitgeteilt" wird. „Hiernach wird sich das normale Erdfeld namentlich dann und dort regenerieren, wann und wo starke Bodenerwärmungen oder barometrische Minima größere Mengen von Bodenluft den Erdkapillaren, Spalten, Hohlräumen im Gerölle oder Gestein entsteigen lassen. Bei wachsendem Luftdrucke wird zwar ein Teil der äußeren Luft wieder in den Erdboden hineingetrieben; diese ist aber sehr viel ionenärmer als die Bodenluft .... Die rückströmende Luft vermag also die Wirkung der aufsteigenden, viel ionenreicheren Luft nur um geringe Beträge zu schwächen, wiewohl sie reicher an + Ionen ist; das Verhältnis von + Ladungen zu — Ladungen in der Atmosphäre übersteigt aber nur selten den Wert 1,2—1,6 .... der zur Trennung der Elektrizitäten und damit zur Herstellung des Erdfeldes dauernd benötigte Arbeitsaufwand wird aus dem ungeheuren Energievorrate der atmosphärischen Zirkulationen mit gedeckt, stammt also in letzter Instanz von der Sonne her". H. Ebert versucht weiter, aus seiner Hypothese die Zusammenhänge in dem Verlauf des Potentialgefälles, der Leitfähigkeit und einigen meteorologischen Elementen zu erklären: „Bei diesem Erklärungsversuche werden in natürlichster Weise die Erscheinungen des atmosphärischen Potentialgefälles, sowie der luftelektrischen Zerstreuungswerte in innigste Beziehung zu denjenigen meteorologischen Faktoren gebracht, mit denen schon längst die Beobachtungen einen inneren Zusammenhang ahnen ließen .... Mehrfach ist bereits auf den eigentümlichen Parallelismus hingewiesen worden, der zwischen der täglichen Periode des Luftdrucks und derjenigen der Luftelektrizität an demselben Beobachtungsorte besteht, und zwar sowohl für die einfache, wie für die doppelte tägliche Periode. Dieser Zusammenhang mußte bei allen bisherigen Erklärungsversuchen unverständlich bleiben; jetzt werden beide Erscheinungen einfach als Ursache und Wirkung miteinander verknüpft. Freilich darf man nicht auf eine vollkommene zeitliche Koinzidenz der Maxima und Minima der beiden Wellen bezw. Doppelwellen rechnen. Es ist nicht zu vergessen, daß die Luft, wenn sie durch größeren barometrischen Druck in die Erdkapillaren hineingepreßt wird, hier einen großen Widerstand zu überwinden hat. Ebenso wird beim Nachlassen des äußeren Druckes das Zurückströmen der Luft namentlich aus den tieferen, emanationsreicheren Schichten sich um mehrere Stunden verspäten können. Da es aber nach der hier vertretenen Auffassung auf die Strömungsgeschwindigkeit der ionisierten Luft durch die oberen Schichten des Bodenmaterials ankommt, so müssen sich Phasendifferenzen zwischen Ursache und Wirkung, d. h. zwischen Luftdruckkurve und Potentialkurve ergeben, die je nach den örtlichen Verhältnissen und der Jahreszeit verschiedene Beträge annehmen können. .... Noch direkter muß sich der genannte Zusammenhang aussprechen, wenn wir den Gang der luftelektrischen Zerstreuungswerte an der Erdoberfläche verfolgen.

Da nach unserer Auffassung das Erdfeld mit seinem Spannungsgefälle daraus resultiert, daß mehr negative Ionen ihre Ladungen bereits in der Erde abgeben und ein Überschuß an freien positiven Ionen in die freie Atmosphäre übertritt, so muß der Grad der Unipolarität q, gemessen durch das Verhältnis der relativen Elektrizitätsverluste eines negativ geladenen gut isolierten Körpers $-a$ zu derjenigen bei positiver Ladung $+a$, $q = -a/+a$ einen deutlichen Zusammenhang erkennen lassen, sowohl zur Größe des Spannungsgefälles selbst, wie zu den Schwankungen des Luftdruckes. Unter normalen Verhältnissen muß mit wachsendem q auch das Potentialgefälle in die Höhe gehen und umgekehrt."

H. Ebert hat sich bemüht, für seine Hypothese auch in quantitativer Hinsicht auf experimentellem Wege Material beizubringen. Innerhalb eines Kupferzylinders war isoliert ein poröser Tonzylinder befestigt, in dessen Inneren „eine kleine Menge" radioaktiver Substanz (Gieselsches Präparat) in einem Glaseimerchen aufgehängt war. Der Luftdruck im Kupferzylinder wurde um 100 mm *Hg* vermindert, die Luft aus dem Innern des Tonzylinders diffundierte durch die 2,5 mm dicke Wand nach außen und der mit einem Quadrantenelektrometer verbundene Tonzylinder nahm ein negatives Potential von 0,32 Volt an, was bei der bekannten Kapazität des isolierten Systems einer Elektrizitätsmenge von 0,089 elektrost. Einheiten entsprach. Aus der Oberfläche des isolierten Systems berechnet H. Ebert die mittlere Oberflächendichte der Ladung zu $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ elektrost. Einheiten/cm² und konstatiert, daß diese Dichte, von der gleichen Größenordnung wie die mittlere Oberflächendichte der normalen Erdladung ist.

Diese beträgt nämlich bei einem Potentialgefälle von 100 Volt/m. $2{,}7 \cdot 10^{-4}$ elektrost. Einheiten/cm²; aus Zerstreuungsbeobachtungen, bei welchen die negative Ladung des Zerstreuungskörpers pro Minute um etwa 1 Proz. abnimmt, schließt H. Ebert auf die Dichte des vertikalen Leitungsstromes und findet sie zu $0{,}45\ 10^{-7}$ elektrost. Einheiten. Pro Tag und m² der Oberfläche wären also 39 elektrost. Einheiten zu regenerieren. Mit dieser Zahl wird die Ladung an Ionen eines Vorzeichens verglichen,

welche von radioaktiver Bodenluft in der gleichen Zeit pro m^3 [1]) erzeugt wird. Es ergibt sich unter zutreffenden Annahmen über die Ionisierungsstärke der Bodenluft der 753fache Wert. Aus dieser Schätzung wird der Schluß gezogen: „Wenn also auch der bei weitem größte Teil der erzeugten Ionen im Erdboden selbst seine Ladungen wieder abgibt, so würde es doch schon genügen, daß ein ganz kleiner Überschuß der vorhandenen Ionenmenge positiven Zeichens in die Atmosphäre hinaustritt, um die Aufrechterhaltung des Erdfeldes zu gewährleisten."

Gegen die Ebertsche Hypothese hat G. C. Simpson[2]) einige gewichtige Bedenken erhoben. Er betont, daß im Erdboden die Kapillarröhren zu eng und lang seien, als daß bei den geringen und langsamen Druckerniedrigungen, welche in der Atmosphäre vorkommen, überhaupt noch irgendein merklicher Betrag an Ionen aus dem Erdboden ins Freie gelangen könnte; die Versuche mittels künstlich ionisierter Luft und Bodenluft seien nicht beweisend, da die Versuchsbedingungen ganz andere seien, als die in der Natur vorhandenen. Selbst wenn man aber den Austritt von positiven Ionen im Überschuß in die Atmosphäre zugäbe, sei es unmöglich, so starke vertikale Luftbewegung anzunehmen, daß diese die Geschwindigkeit der positiven Ionen im elektrischen Felde der Atmosphäre kompensierte — sie könnten also nicht in die größeren Höhen vordringen. Auf der mit Wasser bedeckten Oberfläche der Erde versage die Ebertsche Hypothese vollkommen, und daher könne ein Potentialgefälle auf dem Meere nicht erklärt werden.

Die Bedenken G. C. Simpsons hat H. Ebert[3]) zum Teil auf Grund weiterer Experimentalarbeiten zu beheben versucht. Nach Berichtigung einiger Mißverständnisse werden Versuche beschrieben, bei welchen unter Fortlassung des porösen Tonzylinders durch Luftdruckerniedrigung auf einer Probe aktiven Bodenmaterials negative Ladung erhalten wurde. Auch wurde von L. Endrös die Beziehung zwischen Schichtdicke und Durchströmungsgeschwindigkeit untersucht, bei der die negative Ladung am deutlichsten auftritt; eine Schicht aktiven Gesteins (Cleveit) wurde von Luft durchströmt, und es zeigte sich, „daß der Luftstrom um so langsamer die Spalten und Lücken zwischen den einzelnen Gesteinsbrocken passieren mußte, je länger die zu durchdringende Gesteinsschicht selbst war; wurde der Luftstrom mit größerer Geschwindigkeit hindurch geschickt, so nahm der Effekt ab!" Aus diesen Versuchen schließt H. Ebert, „daß bei den viele Meter dicken Gesteins- und Geröllschichten, die in der Natur in Betracht kommen, die wirksamen Diffusionsgeschwindigkeiten gerade die geringen sind, wie sie den barometrischen Schwankungen entsprechen."

Gegen den Einwand, daß die positiven Ionen nicht durch vertikale Luftströme in diejenige Höhe getragen werden könnten, in welcher noch ein positives Gefälle vorhanden ist, macht H. Ebert geltend, daß nach den Ergebnissen der Potentialgefällemessungen im Freiballon der Gradient am Erdboden (Größenordnung 100 Volt/m) sich nicht in größere Höhen als 1000 m erstreckt, „daß der Gradient mit der Höhe rasch abnimmt, um schließlich den Wert Null zu erreichen", und beanstandet die Auffassung von G. C. Simpson, daß vertikale Komponenten der Luftbewegung im Betrage von wenigen cm/sec. nur über sehr kleinen Bereichen möglich wären, unter Berufung auf eine Angabe in meinen Arbeiten, nach welcher die untere Grenze der Vertikalkomponente der Luftgeschwindigkeit in ausgedehnten aufsteigenden Luftströmen zu 10 cm/sec. anzunehmen sei.

Unsere Kenntnis des Potentialgefälles über dem Meere sei noch ganz ungenügend, um aber das Gefälle über dem Meere zu erklären, habe man nur anzunehmen, daß dieses Feld durch positive Ladungen erzeugt werde, welche vom Lande aus mit Luftströmungen über das Meer hingetragen werden; auch sei es denkbar, daß ein Überschuß von positiven Ladungen in der Luft auch über dem Meere regeneriert werde, da man beim Schütteln von emanationshaltigem Wasser mit Luft in dieser einen Überschuß von positiven Ionen nachweisen könne. Zum Schluß wird die Notwendigkeit gleichzeitiger Registrierungen des Luftdruckes und der luftelektrischen Erscheinungen betont und in einer Anmerkung auf „die wundervollen Registrierkurven" von G. Lüdeling[1]) sowie auf Beobachtungen von B. Zölss und A. Gockel hingewiesen, welche eine Bestätigung der Ebertschen Hypothese enthalten sollen.

In einer Erwiderung auf diese Ausführungen von H. Ebert beseitigt G. C. Simpson[2]) zunächst unter Anerkennung des Fortschrittes, der in den neu mitgeteilten Versuchen vorliege, einige Mißverständnisse geringerer Bedeutung. Bezüglich der Frage nach der Größe der Geschwindigkeit aufsteigender Luftströme betont er mit Recht, daß die von H. Ebert zitierte Stelle aus meiner Arbeit „Über die Kondensation des Wasserdampfes an Ionen" durch einen Druckfehler entstellt ist; darnach muß als obere Grenze der Vertikalkomponente der Luft-

1) In der Ebertschen Arbeit steht irrtümlich cm^3. (Met. Zeitschr. **21**, Mai 1904, S. 213, 9. Zeile von unten.)
2) G. C. Simpson, Diese Zeitschr. **5**, 325—326, 1904.
3) H. Ebert, Diese Zeitschr. **5**, 499—502, 1904.

1) G. Lüdeling, Diese Zeitschr. **5**, 447—451, 1904; B. Zölss, Wien. Ber. **112**, 1117—1122, 1903; A. Gockel, Diese Zeitschr. **5**, 257—259, 1904.
2) G. C. Simpson, Diese Zeitschr. **5**, 734—736, 1904.

geschwindigkeit in ausgedehnten aufsteigenden Luftströmen etwa 10 cm/sec angenommen werden. In Anbetracht der Seltenheit und geringen Ausdehnung solcher aufsteigender Luftströme, die notwendig immer mit absteigenden Luftströmen von der gleichen Fördermenge begleitet sein müssen, bezweifelt G. C. Simpson, daß die vertikale Komponente der Luftbewegung zur Aufrechterhaltung des normalen Erdfeldes imstande sei.

Die Ausführungen von H. Ebert bezüglich der im Erdboden erzeugten Ionenzahlen sind nach G. C. Simpson nicht beweiskräftig für die Grundlage der Ebertschen Hypothese; denn es komme nicht darauf an, wieviel Ionen im Erdboden erzeugt werden, sondern wieviel positive Ionen in die Atmosphäre gelangen. Unter Benutzung der von Ebert angegebenen Daten berechnet G. C. Simpson die tägliche Druckabnahme, welche stattfinden müßte, um bei 50 m Grundwasserstand die erforderliche Zahl positiver Ionen in die Atmosphäre zu treiben unter der Annahme, daß alle positiven Ionen austreten und alle negativen Ionen zurückbleiben und findet sie zu 17 mm. Man kann also zugeben, daß der von H. Ebert angenommene Prozeß zwar stattfinde, daß er aber nicht die Ursache des normalen elektrischen Erdfeldes darstelle.

Neuerdings hat B. Zölss Versuche beschrieben, welche nach seiner Ansicht eine Bestätigung der Ebertschen Annahmen enthalten; er hat mittels eines Elster-Geitelschen Zerstreuungsapparates in einem Brunnenschacht beobachtet und bei abnehmendem Barometerstand große Zunahme der „Zerstreuung" gefunden. Eine Zunahme des Quotienten $q = \frac{a-}{a+}$ mit sinkendem Luftdruck konnte nicht beobachtet werden.

A. Gockel[1]) hat kürzlich Bedenken gegen die Auffassung geltend gemacht, welche in der Ebertschen Hypothese die einzige und hinreichende Erklärung des normalen Erdfeldes erblickt und darauf hingewiesen, dass sie nicht zur Erklärung seiner im Gebirge erhaltenen luftelektrischen Resultate ausreiche.

Ich habe die bisherige Entwickelung der Ebertschen Hypothese und der für und wider sie geltend gemachten Gründe hier kurz zusammenfassend dargestellt, weil es mir in Anbetracht der Bedeutung, die von verschiedenen Seiten insbesondere von H. Ebert selbst dieser Hypothese beigelegt worden ist, notwendig erschien, das bisher geförderte Tatsachenmaterial einer kritischen Sichtung zu unterziehen und die Hypothese selbst, soweit es mir möglich ist, quantitativ nachzuprüfen.

1) A. Gockel, Met. Zeitschr. 1905.

1. Zunächst muß darauf hingewiesen werden, daß die Auffassung, nach welcher bei sinkendem Luftdruck im allgemeinen die Leitfähigkeit der Atmosphäre infolge des Heraustretens von ionisierender Emanation aus dem Erdboden zunimmt, auf J. Elster und H. Geitel zurückzuführen ist, welche unzweifelhaft die Entdecker der Bodenluftemanation und des Vorhandenseins radioaktiver Induktionen in der Atmosphäre sind; diese Forscher haben auch zuerst den Zusammenhang zwischen den Änderungen des Barometerstandes und der Intensität der radioaktiven Induktionen in der Atmosphäre festgestellt. Es muß betont werden, daß die Erklärung für die Zunahme der Leitfähigkeit mit sinkendem Luftdruck nur darin zu suchen ist, daß Emanation aus dem Boden in die Atmosphäre übergeht, welche bei ihrer Umwandlung ebenso wie die aus ihr entstehenden Induktionen die Luft ionisiert, und nicht in der Annahme, daß stark ionisierte Luft aus den Hohlräumen des Erdbodens in die Atmosphäre dringt — ein Vorgang, der nach allem, was wir über die Größe der Diffusionskoëffizienten der Ionen, den Querschnitt der Bodenkapillaren und über die Strömungsgeschwindigkeit der Luft in diesen wissen bezw. annehmen müssen — des Nachweises noch dringend bedarf.

Allein die Anschauung, nach welcher bei dem Hervordringen von stark ionisierter bezw. emanationshaltiger Luft aus dem Erdboden ein Überschuß an positiven Ionen in die Atmosphäre gelangt, rührt von H. Ebert her.

2. Von den experimentellen Belegen, welche H. Ebert für seine Auffassung beizubringen versucht, soll zunächst das Experiment, bei welchem ein poröser Tonzylinder verwendet wurde, besprochen werden. Das radioaktive Präparat (vermutlich Radiumbromid) war im Innern des Tonzylinders in einem Glaseimerchen befestigt; es ist zu vermuten, daß das Präparat also frei mit der Luft im Innern des Tonzylinders kommunizierte. Es ist also als Grundlage des Versuches anzusehen, daß die von dem Präparat ausgegebene Emanation mit den aus ihr entstehenden Induktionen den wesentlichen Ionisator der Luft bildete. Nur so wird es verständlich, warum der Innenraum eine Zeitlang sich selbst überlassen bleiben mußte, bis er die nötige Ionisation zeigte; würde die Ionisation nur auf den vom Präparat ausgehenden Strahlungen beruht haben, so müßte sich das Gleichgewicht zwischen Ionisierung und Molisierung in sehr kurzer Zeit hergestellt haben. Leider fehlt eine Angabe über die Zeit, in welcher die Druckerniedrigung um 100 mm Hg vorgenommen wurde; nur wenn es sich um sehr kleine Strömungsgeschwindigkeiten gehandelt haben sollte, wie sie in den Kapillaren des Erdbodens ausschließlich vor-

kommen, könnte der Versuch als Stütze der Ebertschen Hypothese herangezogen werden.[1])

Der Simpsonsche Einwand gegen die Vergleichbarkeit des Experiments mit den im Erdboden obwaltenden Verhältnissen ist durchaus berechtigt, insbesondere was die durchströmte Schichtdicke anlangt; hätte man es lediglich mit ionisierter Luft zu tun (ohne Beimischung von Emanation), so wäre es ganz unverständlich, wie überhaupt bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten noch eine merkliche Anzahl Ionen eine größere Schichtdicke passieren könnte. Dieses kann nur eintreten, wenn durch beigemischte Emanation oder durch sehr durchdringende Strahlungen noch innerhalb der durchströmten Schicht Ionisierung statthat.

3. Sehr bemerkenswert erscheint mir das Resultat der Endrösschen Versuche, nach welchem bei geringen Luftgeschwindigkeiten in dem mit aktivem Material angefüllten Rohr eine stärkere negative Ladung erhalten wurde als bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten. Leider fehlen auch hier Angaben über die Größenordnung der Luftgeschwindigkeiten. Sicher ist doch aber bei der Strömungsgeschwindigkeit Null auch der Ladeeffekt gleich Null; wenn sich daher bei abnehmender Strömungsgeschwindigkeit in irgendeinem Geschwindigkeitsbereiche eine Zunahme des Effektes zeigte, so wäre es eine wichtige Aufgabe gewesen, die Geschwindigkeitswerte aufzusuchen, bei welchen der maximale Ladeeffekt eintritt.

Vielleicht erklärt sich das Endrössche Resultat dadurch, daß bei großen Geschwindigkeiten ein so großes Volumen gut leitender Luft aus dem Rohre in die Umgebung geschafft wurde, daß der an und für sich größere Ladeeffekt durch verstärkte Entladung nach außen hin aufgehoben wurde, während bei kleinen Geschwindigkeiten die aus dem Rohre austretende Luft hinreichend Zeit hatte, durch Molisierung ihre Leitfähigkeit zum größten Teil zu verlieren; eine Wiederholung und Fortsetzung der Endrösschen Versuche in den angedeuteten Richtungen wäre sehr wünschenswert.

4. Inwiefern die mit Ackererde erhaltenen Ladungseffekte die in der Natur vorkommenden Verhältnisse wiedergeben können, läßt sich leider nicht mit Sicherheit beurteilen, da wieder nicht die Größenordnung der Geschwindigkeit für die austretenden Luftströme angegeben ist. Um ein Bild davon zu geben, welche Geschwindigkeiten im Experiment hätten verwirklicht werden müssen, um ihm für die in der Natur obwaltenden Verhältnisse Beweiskraft zu verschaffen, will ich schätzungsweise die Geschwindigkeiten beim Austritt der Luft aus dem Erdboden berechnen, welche zu erwarten sind, wenn in der Stunde der Barometerstand um 1 mm bei 760 mm fällt; von dem Bodenmaterial soll die sehr günstige Annahme gemacht werden, daß es bis 50 m Tiefe 50 Proz. Bodenluft enthalte. Würde die ganze unter einem Quadratzentimeter der Oberfläche bis zu dieser Tiefe vorhandene Luft an der Strömung sich beteiligen, so würden also durch das Quadratzentimeter $^1/_{760} \cdot 2500 = 3{,}29$ ccm in der Stunde hindurchtreten, was oberhalb des Bodens einer Vertikalgeschwindigkeit von 0,00091 cm/sec entsprechen würde. Der für die Strömung freie Querschnitt muß innerhalb des Bodens kleiner, die Geschwindigkeit also im gleichen Verhältnis größer sein als dieser Wert; nehmen wir für das Querschnittsverhältnis den Wert $^1/_{10}$ an, so ergibt sich für die Strömungsgeschwindigkeit der Luft innerhalb der Bodenkapillaren der Größenordnung nach 0,0091 cm/sec oder rund $^1/_{100}$ cm/sec. In den weitaus meisten Fällen wird selbst dieser geringe Geschwindigkeitswert noch zu hoch geschätzt sein; denn bei den gewöhnlichen periodischen Druckschwankungen dürfte schwerlich die Luft in 50 m Tiefe wegen der Reibung in den Kapillaren des Bodens und der außerordentlich geringen Druckdifferenz noch an der Bewegung teilnehmen.

[Anmerkung. Um ein Bild davon zu gewinnen, wie diese Strömungsverhältnisse in hohem Maße von der Bodenbeschaffenheit abhängig sein müssen, ist es nützlich, sich daran zu erinnern, daß in Kapillaren unter sonst gleichen Bedingungen die Strömungsgeschwindigkeit des Gases proportional der vierten Potenz des Kapillardurchmessers wächst; es sind also mit verhältnismäßig kleinen Änderungen der Körnung des Bodenmaterials sehr große Änderungen der Durchlässigkeit verbunden. Die Größenordnung des Reibungswiderstandes wird veranschaulicht, wenn man berücksichtigt, daß durch eine Kapillare von 50 m Länge und 0,1 mm Durchmesser bei 1 mm *Hg* Druckdifferenz an den Enden bei 15° C pro Stunde etwa 0,0012 ccm Luft wandern. Bei hinreichend feiner Korngröße und entsprechend engen Hohlräumen zwischen den Körnern werden also die täglichen Druckschwankungen mit merklicher Amplitude nur bis zu Tiefen in den Boden eindringen, die von der Größenordnung derjenigen Tiefen sind, bis zu denen die tägliche Schwankung der Bodentemperatur mit merklicher Amplitude vordringt. Doch wird schon eine Bodenart von nur wenig gröberer Körnung die Druckschwankungen bis zu weit größeren Tiefen durchlassen. Wenn also irgendeine Einwirkung der Druckänderung auf

1) Welchen Wert der Vergleich der aus der erzeugten negativen Ladung des isolierten Systems, seiner Kapazität und seiner Oberfläche berechneten mittleren Flächendichte der Ladung mit der mittleren Flächendichte der Erdladung haben soll, ist mir unverständlich geblieben — wäre die Oberfläche des isolierten Systems bei gleicher Kapazität 10 mal größer gewesen, so hätte sich keine Übereinstimmung der Größenordnung ergeben.

luftelektrische Phänomene vorhanden ist, wird sie je nach der Bodenbeschaffenheit der Beobachtungsstation in sehr verschiedener Intensität bezw. mit sehr verschiedener Verzögerung gegen die Druckschwankung auftreten, sofern sie überhaupt ungestört durch die Zirkulation der Atmosphäre beobachtbar ist.]

Für die Beurteilung des Wertes der Ebertschen Hypothese wäre es von Wichtigkeit, ob die soeben geschätzte Größenordnung der Geschwindigkeit tatsächlich experimentell realisiert wurde, bezw. welche Ladungseffekte man bei dieser Strömungsgeschwindigkeit erhalten würde.

Solange gerade bei der wichtigsten der in Betracht kommenden Versuchsvariabeln jede quantitative Angabe darüber fehlt, ob sie innerhalb des in der Natur vorkommenden Bereichs untersucht wurde, wird man diesen Laboratoriumsversuchen keine Beweiskraft zuerkennen dürfen.

5. Wollte man nun aber zugeben, daß der von H. Ebert angenommene Ladungseffekt tatsächlich in der zur Erklärung der Regeneration des Erdfeldes notwendigen Größe vorhanden ist, wie steht es dann mit der von ihm gegebenen geophysikalischen Ausgestaltung der Hypothese?

Zunächst muß die Berechnung des vertikalen Leitungsstromes aus Zerstreuungsbeobachtungen beanstandet werden; es ist nicht angängig, den Ladungsverlust des Zerstreuungskörpers zu vergleichen mit dem Verlust des Erdkörpers an negativer Ladung unter der Wirkung des vertikalen Leitungsstromes. Unter dem Schutzdach des Zerstreuungsapparates nach Elster und Geitel herrscht nahezu gesättigter[1]) Strom, in der Atmosphäre ist die Strömung weit entfernt von dem gesättigten Strom; es muß also der aus Zerstreuungsbeobachtungen geschätzte vertikale Leitungsstrom stets zu klein ausfallen. In der Tat findet H. Ebert die Dichte des vertikalen Leitungsstromes zu $0{,}45 \cdot 10^{-7}$ elektrostat. Einheiten, während sie in Wirklichkeit nach der einwandfreien Schätzung aus Leitfähigkeits- und Potentialgefällsmessungen etwa $7{,}3 \cdot 10^{-7}$ — also etwa 16 mal größer ausfällt. (Übrigens lege ich auf diesen Punkt weniger Wert; ich habe ihn lediglich erwähnt, um nicht den Anschein zu erwecken, als hielte ich diese Ebertsche Schätzung des vertikalen Leitungsstroms für einwandsfrei.)

6. Was die Folgerungen anlangt, welche H. Ebert aus dem Gange der täglichen Barometerschwankungen und den Änderungen des Potentialgefälles und des Ionengehaltes zieht, so muß ich sie, soweit sie eine Bestätigung seiner Hypothese erbringen sollen, auf das entschiedenste beanstanden. Um den Verlauf des Potentialgradienten mit dem Verlauf des Luftdruckes unmittelbar in Zusammenhang zu bringen, muß H. Ebert die Phasendifferenz zwischen beiden erklären; er tut dieses, indem er auf die Verzögerung des Luftaustritts aus dem Boden hinweist. Wie ich oben gezeigt habe, müssen je nach der Bodenbeschaffenheit äußerst verschiedene Verzögerungen auftreten; dafür daß in jedem Falle die Phasenverschiebung zwischen Luftdruckverlauf und Potentialgefälle eintritt, welche der Verzögerung des Luftaustritts aus dem Boden in der Umgebung der betrachteten Stelle entspricht, fehlt aber bisher jeder Beweis. Wir können ja eine ganze Reihe von wohlbekannten Abhängigkeiten der meteorologischen Faktoren und der luftelektrischen Erscheinungen angeben, deren Bestehen auch auf rein physikalischer Grundlage gesichert ist, die Erkenntnis dieser Zusammenhänge ist aber nicht auf Grund einer bloßen Vergleichung der Perioden, sondern durch systematisch-statistische Bearbeitung eines umfangreichen Beobachtungsmaterials gewonnen worden. Was die Registrierungen von G. Lüdeling, die sich über einige Tage erstrecken, für die Ebertsche Hypothese beweisen sollen, ist nicht ganz verständlich; daß Potentialgefälle und Luftdruck im allgemeinen eine doppelte tägliche Schwankung zeigen, und wie die Lage der Maxima und Minima in beiden Verläufen beschaffen ist, war schon bekannt. Die Registrierung der sogenannten „Zerstreuung" an dem Turme des Potsdamer Observatoriums kann ich ihrem Werte nach nicht beurteilen, da mir jeder Anhalt darüber fehlt, wie sich der dort registrierte Spannungsverlust eines geladenen und unter einem Schutzdach der Luft exponierten Leiters als Funktion der für den elektrischen Zustand der Atmosphäre maßgebenden Größen — spezifische Ionenzahl, Ionengeschwindigkeit, Ionisierungs- und Molisierungsstärke — darstellt. Daß diese Registrierungen zeitweise eine stärkere Spannungsabnahme bei negativer Ladung des Leiters als bei positiver zeigen und daß der Quotient der Spannungsabnahme für negative und positive Ladung in seinem Verlauf eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verlauf des Potentialgefälles aufweist, ist nach den oben (S. 649) gegebenen Ausführungen über die möglichen Ursachen dieses jederzeit bei Zerstreuungsbeobachtungen und Potentialgefällsmessungen aufgefundenen Parallelismus wohl verständlich. Daß durch diese Registrierungen das Entstehen eines bei sinkendem Luftdruck aus den Bodenkapillaren heraustretenden Überschusses an positiver Ladung in die Atmosphäre und damit ein Steigen des Potentialgefälles nach der Ebertschen Hypothese bewiesen sei, kann ich nicht zugeben. Wie ich schon oben auseinander gesetzt habe, geht man bei der üblichen Diskussion des Quotienten q von der irrigen Voraus-

1) H. Schering, Dissert. Göttingen, 1904.

setzung aus, daß man mittels des Zerstreuungsapparates oder des Ebertschen Apparates den wirklichen Überschuß an positiver Ladung messen könnte, welcher der Abnahme des Potentialgefälles mit der Höhe entspricht; tatsächlich handelt es sich beim Arbeiten mit diesen Apparaten nur um die leicht beweglichen Ionen, während man über den Gehalt an schwer beweglichen (Langevinschen) Ionen darnach nichts aussagen kann.

7. Das einzige Experiment, welches über die Möglichkeit oder Unmöglichkeit der Ebertschen Annahme direkt hätte entscheiden können, wäre der Zölssche Versuch gewesen, wenn sich Zölss einer Methode bedient hätte, die mit Sicherheit auch kleine freie räumliche Ladungen nachweisen läßt. Seine Zerstreuungsbeobachtungen in der Steinbruchshöhle sind lediglich eine neue Bestätigung der Elster-Geitelschen Auffassung von dem bei sinkendem Luftdruck stattfindenden Austritt emanationsreicher Luft aus dem Erdboden. Von einer Bestätigung der Ebertschen Annahme kann schon deshalb gar nicht die Rede sein, weil diese weder mittels des Zerstreuungsapparates noch mittels des Ionenzählers erbracht werden kann.

8. Wenn man auch allen bisher gegen die Ebertsche Hypothese vorgebrachten Gründen die Beweiskraft absprechen wollte, so bliebe doch der am schwersten wiegende Einwand bestehen, daß etwa aus dem Boden in die Luft eingeführte Überschüsse an positiver räumlicher Ladung in dem für die Unterhaltung des vertikalen Leitungsstromes erforderlichen Betrage unmöglich in diejenigen Höhen gelangen können, in welchen tatsächlich ein solcher noch besteht. Um dieses zu ermöglichen, müßte der normale vertikale Konvektionsstrom im Mittel entgegengesetzt gleich dem normalen vertikalen Leitungsstrome sein; wie ich oben gezeigt habe (vergl. S. 650) kann aber im allgemeinen der normale vertikale Konvektionsstrom nur etwa 3 Proz. des vertikalen Leitungsstromes erreichen. Es gilt hier für die Ebertsche Modifikation der Elster-Geitelschen Adsorptionshypothese genau das gleiche, was für diese selbst von H. Ebert so treffend formuliert wurde: „Auch war es schwer zu verstehen, daß sich das elektrische Feld bis in größere Entfernungen erstrecken sollte; würden z. B. aus den dem Erdboden unmittelbar anliegenden Luftschichten die — Ionen durch Adsorption in größerer Zahl herausgenommen, so blieben doch die entsprechenden + Ionen in unmittelbarer Nähe zurück; es könnte sich nur eine Art elektrischer Doppelschicht bilden, die lediglich in den untersten Schichten der Atmosphäre zur Ausbildung elektrischer Spannungsdifferenzen führen würde. Nur wenn etwa der Wind die überschüssigen + Ionen entführte, könnte die Spannung „frei" werden und ein eigentliches Feld entstehen." Von dem „Wind" kommt allein die vertikale Komponente in Betracht, von der ich nachgewiesen habe, daß sie die erforderliche Leistung nicht erreichen kann.

Die Kondensationshypothese.

Der wesentliche Grund dafür, daß weder die Elster-Geitelsche Adsorptionshypothese noch ihre Modifikation durch H. Ebert den Anforderungen genügen können, welche man an eine Hypothese der Regenerierung des atmosphärischen elektrischen Feldes stellen muß, ist darin zu suchen, daß beide Hypothesen die Trennung der positiven und negativen Ladungen in unmittelbare Nähe des Erdbodens verlegen und außerstande sind, die Trennung der Ladungen bis auf größere Entfernungen zu erklären. Eine Hypothese der Regenerierung des Erdfeldes kann zweifellos auch nicht angenähert vollständige Auskunft über den Elektrizitätshaushalt der unteren Atmosphäre geben, wenn sie ein so gewaltiges und wichtiges Phänomen wie die Konvektion von Ladungen durch atmosphärische Niederschläge ganz unberücksichtigt läßt. Und doch weist die vollständige Theorie der Elektrizitätsströmung in der Atmosphäre, die den gesamten Leitungs- und Konvektionsstrom berücksichtigt (vergl. S. 649), mit Notwendigkeit darauf hin, daß die Kompensation der vom Leitungsstrom beförderten Elektrizitätsmengen durch den Konvektionsstrom geleistet werden muß und zwar zum überwiegenden Teil durch den gestörten Konvektionsstrom, da, wie ich oben gezeigt habe, der normale Konvektionsstrom dazu nur in unzureichendem Betrage beitragen kann.

Ich habe bereits in meinen früheren Arbeiten[1]) auf die Bedeutung der Niederschlagselektrizität für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre hingewiesen; der Gedanke, daß gerade die Niederschläge die Regenerierung des atmosphärischen Feldes besorgen könnten, ist schon in einigen älteren luftelektrischen Hypothesen enthalten und in neuerer Zeit durch C. T. R. Wilson auf J. J. Thomsons Anregung wieder zur Diskussion herangezogen worden. Ich will im folgenden die physikalischen Grundlagen der Hypothese darstellen und den Nachweis erbringen, daß die betrachteten Phänomene tatsächlich einen Konvektionsstrom ergeben, welcher der Größenordnung nach ausreicht, den Effekt des Leitungsstromes zu kompensieren; es kann zurzeit nur eine Schätzung der Größenordnung durchgeführt werden, da quantitativ verwertbares Material nur in unzureichender Menge und Verteilung vorliegt.

1) H. Gerdien, Münch. Ber. **33**, 367—379, 1903; diese Ztschr. **4**, 837—842, 1903; Jahrb. d. Radioakt. u. Elektr. 1, 24—39, 1904; Terr. Mag. **10**, 65—79, 1905; Winkelmanns Handbuch der Physik, l. c.

C. T. R. Wilson[1]) ließ mit Wasserdampf gesättigte und von Staub befreite Luft, die in einem geschlossenen Gefäß ionisiert wurde, plötzlich expandieren und fand, daß in dieser Luft nach Ausfällung aller staubartigen Kondensationskerne neue Kondensationskerne in Wirksamkeit traten, sobald die Übersättigung der Luft mit Wasserdampf eine gewisse Grenze überschritt. In einer mit großer Sorgfalt durchgeführten Experimentaluntersuchung konnte er zeigen, daß diese Kondensationskerne identisch sind mit den Ionen und daß für die positiven und die negativen Ionen verschiedene Grade der Übersättigung erforderlich sind, um sie als Kerne in Tätigkeit treten zu lassen; und zwar trat merklich unabhängig von dem verwendeten Ionisator an den negativen Ionen bei etwa 4 facher Übersättigung — entsprechend einer Expansion auf das 1,25 fache Volumen — an den positiven Ionen bei etwa 6 facher Übersättigung — entsprechend einer Expansion auf das 1,38 fache Volumen — die Tröpfchenbildung ein. Wilson hat kürzlich seine älteren Versuchsreihen, bei welchen künstlich ionisierte Luft benutzt wurde, dadurch vervollständigt, daß er die angeführten Übersättigungsgrade auch für die in natürlich ionisierter Luft enthaltenen Ionen nachwies.

Neben der Kondensation an Ionen in übersättigter Luft kommt vermutlich für die Elektrizitätserregung bei den atmosphärischen Niederschlägen auch die Adsorption von Ionen an Kondensationsprodukten in Betracht; A. Schmauß[2]) fand nämlich, daß Tropfen, die durch ionisierte Luft gefallen waren, überwiegend negative Ladung annehmen. Ich habe schon an anderer Stelle darauf hingewiesen[3]), daß dem von C. T. R. Wilson untersuchten Phänomen die bei weitem größere Bedeutung für den Elektrizitätshaushalt der Atmosphäre zukommen dürfte; wir wollen uns daher vorwiegend mit den Bedingungen beschäftigen, unter denen die Kondensation des Wasserdampfes an Ionen in der Atmosphäre stattfinden kann.

Damit überhaupt Übersättigung zustande kommen kann, muß für Beseitigung der staubförmigen Kondensationskerne gesorgt sein; merklich staubfreie oder doch staubarme Luft kommt in den höheren Schichten der Atmosphäre vor, sie entsteht auch, wenn durch Kondensation von Wasserdampf die Staubkerne ausgefällt worden sind, über den sommerlichen Cumuluswolken und in niedrigen Schichten an böigen Tagen. Die Bedingung der Abwesenheit von staubförmigen Kondensationskernen kann also bei verschiedenen Wetterlagen und in verschiedenen Höhen erfüllt sein. Die weitere Bedingung, das Vorhandensein einer hinreichenden Zahl von Ionen, ist in der Atmosphäre, wie oben gezeigt wurde, immer erfüllt; wir haben bei einer Ionenladung von 1 elektrostat. Einheit im Kubikmeter mit rund $3 \cdot 10^9$ Ionen jedes Vorzeichens im Kubikmeter zu rechnen — das ist eine Zahl, die zwar erheblich hinter der Zahl der gewöhnlich in diesem Volumen vorhandenen staubförmigen Kondensationskerne zurückbleibt, aber immerhin zur Kernwirkung bei eintretender Übersättigung ausreichen muß. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß auch die dritte Bedingung, das Eintreten der 4- bis 6 fachen Übersättigung in der Atmosphäre erfüllt werden kann; sie muß in der Atmosphäre wie im Laboratorium durch Expansion mit adiabatischer Abkühlung der gesättigten staubfreien Luft bewirkt werden. Die Expansion erfolgt zwar in der Atmosphäre nicht so schnell wie bei dem Laboratoriumsversuch, doch wird auch hier der Wärmeaustausch mit der Umgebung auf einen sehr geringen Betrag zu schätzen sein, da die Expansion innerhalb sehr großer Bereiche stattfindet. Die Expansion in der Atmosphäre ist an aufsteigende Luftströme gebunden, die um so mehr geeignet sein werden, den Zustand der 4- oder 6 fachen Übersättigung zu erreichen, je größer ihre Geschwindigkeit und je kleiner daher die Zeit ist, während welcher ein Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfinden kann. Die Bedingungen für das Zustandekommen der Kondensation des Wasserdampfes an Ionen werden daher im allgemeinen nicht in den ausgedehnten aufsteigenden Luftströmen mit verhältnismäßig geringen vertikalen Geschwindigkeiten der großen barometrischen Depressionen erfüllt sein, sondern nur da, wo es unter besonderen Umständen zu intensiven, lokalen aufsteigenden Luftströmen kommt — also in den sommerlichen Gewittercumuli, den Böen und Wirbelgewittern.

Wie wird sich nun auf Grund der Hypothese die Kondensation an Ionen vollziehen müssen, wenn irgendwo die Vorbedingungen erfüllt sind? Wir wollen an dem Beispiel eines Cumulo-Nimbus die Vorgänge erörtern. Die Luft des aufsteigenden Stromes enthält zunächst in den niedrigeren Schichten noch reichlich staubartige Kondensationskerne (10000—100000 im Kubikzentimeter), sie ist noch nicht mit Wasserdampf gesättigt; das Steigen der Luftmassen ist mit Expansion verbunden, es muß also Abkühlung stattfinden, und zwar bei adiabatischem Temperaturgradienten um 1° C für eine Erhebung um rund 100 m. Die spezifische Feuchtigkeit der steigenden Luftmasse (Gewicht des Wasserdampfes in Gramm pro Kilogramm Luft) wird

1) C. T. R. Wilson, Proc. Roy. Soc. London **61**, 240, 1897; Phil. Trans. A. **189**, 265, 1897; Proc. Cambr. Soc. **9**, 392, 1898; Proc. Roy. Soc. London **54**, 127, 1898; Phil. Trans. A. **192**, 403, 1899; Proc. Roy. Soc. London **65**, 289, 1899; Phil. Trans. A. **193**, 289, 1900; Nature **62**, 149, 1900.

2) A. Schmauß, Ann. d. Phys. (4) **9**, 224, 1902.

3) H. Gerdien, die unter 1) S. 658 zitierten Arbeiten.

zunächst merklich konstant bleiben, bis in einer gewissen, nach der mehr oder minder vollkommenen Durchmischung der Luft mehr oder minder scharf begrenzten Höhe die erste Kondensation des Wasserdampfes an den staubartigen Kondensationskernen stattfindet — der Strom ist an der Basis des Cumulus angelangt. Je nach der Zahl der in der Volumeinheit enthaltenen Kondensationskerne wird aus dem verfügbaren Wasserdampf eine sehr große Zahl von äußerst kleinen Tröpfchen oder eine geringere Zahl von verhältnismäßig größeren Tröpfchen (vorausgesetzt, daß die Basis noch unterhalb der 0° Isotherme liegt) entstehen, die je nach ihrer Größe eine mehr oder minder große Relativgeschwindigkeit entgegen dem aufsteigenden Luftstrome annehmen müssen. Die ursprünglich gebildeten Kondensationsprodukte werden bei ihrer Relativbewegung gegen den aufsteigenden Luftstrom schnell wachsen können, weil an ihrer Oberfläche noch weiter Kondensation stattfinden kann, einzelne größere Individuen werden auch durch Zusammenfließen mehrerer kleinen entstehen können; es werden sich innerhalb der Wolke im allgemeinen Gruppen von Kondensationsprodukten verschiedener Größe bilden, die mit entsprechend verschiedenen Relativgeschwindigkeiten gegen den aufsteigenden Strom fallen werden. Bei hinreichender Intensität des Luftstromes wird in einer gewissen Höhe über der Basis des Cumulus die Ausfällung der staubartigen Kondensationskerne merklich vollkommen erreicht sein, die bisher dichte Nebelmasse der Wolke wird wieder klar durchsichtig werden müssen.

Bis zu diesem Punkte wird der Kondensationsprozeß zu keinen außergewöhnlichen elektrischen Phänomenen führen können; zwar wird im Innern des Cumulus die Leitfähigkeit infolge von Adsorption der Ionen an der reichlich dargebotenen Oberfläche der Kondensationsprodukte sehr klein werden und als Folge davon das Gefälle innerhalb der Wolke nicht unbeträchtlich anwachsen müssen (vergl. oben S. 650), auch wird durch besondere Strömungsverhältnisse innerhalb der Wolke hin und wieder ein verhältnismäßig starkes, aber nur lokales Feld dadurch entstehen können, daß Kondensationsprodukte aus dem oberen und dem unteren Teile der Wolke, die im allgemeinen durch Einwanderung der Ionen aus dem darüber oder darunter gelegenen Volumen Ladungen verschiedenen Vorzeichens erworben haben, einander genähert werden. Am Boden aber wird noch immer keine besonders auffällige Änderung des Feldes bemerkbar werden können, bis vielleicht stellenweise vorwiegend aus dem oberen oder unteren Teil der Wolke stammende Kondensationsprodukte wirklich die Wolke verlassen und zur Erde fallen. In der Tat beobachtet man bei Cumulusbildung am Boden noch kein außergewöhnliches Verhalten des Potentialgefälles — die so charakteristischen schnellen und starken Änderungen treten erst auf, sobald die Niederschläge zu fallen beginnen. Doch auch diese Phänomene sind noch verhältnismäßig unbedeutend und erinnern wie auch das Verhalten der Niederschlagsladungen an die bei Landregen obwaltenden Verhältnisse. Einen ganz anderen Charakter nehmen die elektrischen Verhältnisse am Boden an, sobald eine dem Wetterkundigen unverkennbare und als gefahrdrohend bekannte Veränderung an dem Cumulus vor sich geht — sobald er nämlich die eigenartig schleierige, verwaschene Kappe zeigt, die als „Cirro-Stratusschirm" oder auch „falscher Cirrusschirm" bezeichnet wird. Nun ist ein Wendepunkt erreicht, kurze Zeit verstreicht nur noch und aus dem drohenden Gewölk zucken die Blitze, bald fallen auch äußerst stark geladene Niederschläge zur Erde. Was war wohl die Ursache der plötzlichen Wandlung des vorher so unscheinbaren Kondensationsvorganges? Wir wollen versuchen, sie an der Hand der Ionenhypothese verstehen zu lernen; wir hatten den aufsteigenden Luftstrom verfolgt bis zur oberen Grenze des Cumulus. Dort steigt mit Wasserdampf gesättigte Luft auf, die von Kondensationskernen befreit ist, es muß also Übersättigung eintreten; in einer gewissen Höhe über dem Cumulus wird derjenige Grad der Übersättigung erreicht werden, der von C. T. R. Wilson für die Kondensation des Wasserdampfes an den negativen Ionen nachgewiesen wurde. Die Eigenschaften dieses Kondensationsvorganges werden merklich andere sein müssen, als diejenigen der Kondensation an Staubkernen; während nämlich von diesen eine im allgemeinen sehr große Zahl in der Volumeneinheit vor der Kondensation vorhanden ist, sind von negativen Ionen in der Volumeneinheit erheblich weniger enthalten (500—5000), die entstehenden Kondensationsprodukte werden also im allgemeinen jetzt größer und weniger zahlreich sein müssen als in der Basis des Cumulus. Sie werden auch aus einem anderen Grunde durchaus verschieden sein müssen von diesen; bei der Kondensation an Staubkernen fällt natürlich nur immer der Überschuß an Wasserdampf kondensiert aus, der bei dem stetigen Überschreiten der Sättigungsgrenze im aufsteigenden Luftstrom zur Kondensation nach und nach verfügbar wird, bei der Kondensation an den negativen Ionen fällt mit einem Schlage, sobald die etwa 4fache Übersättigung erreicht ist, die ganze von dem Überschreiten der Sättigungsgrenze an aufgespeicherte überschüssige Wasserdampfmenge aus, es werden daher, falls der Vorgang sich schon oberhalb der 0° Isotherme abspielt, die festen Kondensationsprodukte eine merklich andere Konstitution haben, als die

an Staubkernen langsam gewachsenen und es wird, falls die 0° Isotherme noch nicht überschritten ist, überaus großtropfiger Regen zu erwarten sein. Es ist zurzeit noch nicht erwiesen, daß wir in dem „falschen Cirrusschirm" tatsächlich die Kondensation an den negativen Ionen zu erblicken haben, aber nichts was bisher über die Natur dieses Wolkengebildes bekannt ist, steht im Widerspruch zu der hier vorgeführten Deutung. Der Cirrusschirm scheint fast regelmäßig, wie die Betrachtung bei durchfallendem Sonnenlicht ergibt, aus Eisnadeln zu bestehen; daraus ist nicht zu schließen, daß etwa die Kondensation an den negativen Ionen nur dann zu starken elektrischen Phänomenen führen kann, wenn sie bei Temperaturen unter 0° erfolgt. Wie weiter unten gezeigt werden wird, ist aus der Hypothese allerdings zu verstehen, daß die Kondensation an den negativen Ionen im allgemeinen in Höhen erfolgen wird, die oberhalb der 0° Isotherme liegen, aus der Hypothese ist aber kein Grund ersichtlich, warum die Trennung der Ladungen nicht auch merklich in gleicher Vollkommenheit unterhalb der 0° Isotherme erfolgen sollte.

Die Trennung der bis zum Eintritt der Kondensation an den negativen Ionen nebeneinander vorhandenen Ionenladungen wird nämlich erfolgen müssen, sobald die zuerst entstandenen negativ geladenen Kondensationsprodukte eine hinreichend große Relativgeschwindigkeit gegen den aufsteigenden Luftstrom erlangt haben; der Luftstrom wird dann die positiven Ionen heben und sie entgegen dem sehr starken Felde, welches bei der räumlichen Trennung der Ionenladungen entstehen muß, von den negativ geladenen Kondensationsprodukten zu entfernen streben. Die notwendige Bedingung dafür, daß die Trennung möglich ist, lautet einfach:

$$G - \frac{dV}{dh} \cdot v_p > 0,$$

worin G die Relativgeschwindigkeit der negativ geladenen Kondensationsprodukte gegen den Luftstrom $\frac{dV}{dh}$ die vertikale Feldkomponente am Orte der Trennung und v_p die spezifische Geschwindigkeit der positiven Ionen daselbst bezeichnen. Die bei der Trennung der Ionenladungen auftretenden Feldstärken müssen recht bedeutende Größe erreichen können; wir wollen, um eine Schätzung ausführen zu können, annehmen, daß die Trennung in horizontalen Schichten erfolgt sei, deren vertikale Ausdehnung klein sei gegen ihre horizontale. In der Luft seien vorher die spezifischen Ionenzahlen n_p und n_n vorhanden gewesen; die Trennung sei so weit fortgeschritten, daß eine oben von positiven Ionen und unten von negativ geladenen Kondensationsprodukten erfüllte Schicht von der Dicke $2d$ entstanden ist. Dann wird die maximale Feldstärke, die von den getrennten Ladungen erzeugt wird, an der Grenzfläche zwischen den positiv und negativ geladenen Schichten bestehen, die sich unter der gemachten Annahme zu $-\frac{dV}{dh} = 2\pi d\,\varepsilon\,(n_p + n_n)$ ergibt. Sind also im ganzen in einer 200 m dicken Schicht die Ladungen getrennt, so daß in den oberen 100 m nur positive Ionen und in den unteren 100 m nur negativ geladene Kondensationskerne vorhanden sind, so wird das Feld in der Mitte der Schicht, wenn vorher 1 elektrostatische Einheit/cbm von positiven und ebensoviel an negativen vorhanden war $6{,}28 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0{,}126$ elektrostatische Einheiten oder rund 3770 Volt/m betragen. Würde die Trennung in 5500 m Höhe erfolgt sein, wo die spezifische Geschwindigkeit der positiven Ionen[1]) rund 900 elektrostatische (3 cm/sec/Volt/cm) beträgt, so würde die Relativgeschwindigkeit der Kondensationsprodukte gegen den aufsteigenden Luftstrom etwa 1,13 m/sec betragen müssen, damit die Trennung der Volumenladungen noch aufrecht erhalten wird. Zu einer Trennung der Ladungen in mächtigen Schichten wird also eine verhältnismäßig hohe Relativgeschwindigkeit vorhanden sein müssen, d. h. die Kondensationsprodukte müssen eine erhebliche Größe erreichen. Das starke Feld besteht dabei nur innerhalb der Schicht; ein Anwachsen des Feldes am Boden wird bei unserer Annahme über das Verhältnis der horizontalen zu der vertikalen Ausdehnung der Schicht erst eintreten können, sobald die Kondensationsprodukte die Erde erreichen. In Wirklichkeit sind die Schichten natürlich von einer Dicke, die gegen die horizontalen Dimensionen zu vernachlässigen ist, es wird also schon zur Zeit des Beginnens der Trennung eine Änderung des Feldes bemerkt werden können. Für unsere angenommene Schichtung läßt sich leicht der Energiebetrag berechnen, der für eine Säule von der Querschnittseinheit und der Höhe der Schichtdicke bei der Trennung der Ladungen aufzuwenden ist. Diese Energie ist

$$\frac{1}{8\pi}\int_{-d}^{+d}\left(\frac{dV}{dh}\right)^2 dh,$$

wobei der Nullpunkt der Höhenmessung in die Mitte der Schicht gelegt ist, das Feld für $-d < h < 0$ dargestellt wird durch $4\pi\varrho\,(h + d)$, für $0 < h < +d$ durch $4\pi\varrho\,(h - d)$ und ϱ die räumliche Dichte der Ladung also $\varepsilon \cdot n_p$ bezw. $\varepsilon \cdot n_n$ bezeichnet. Die elektrische Energie der Säule von der Höhe $2d$ und dem Einheitsquerschnitt wird $= \frac{4\pi\varrho^2 d^3}{3}$ oder für die Schicht

1) H. Gerdien, vergl. die unter 1) S. 648 zitierten Arbeiten.

mit den von uns angenommenen Dimensionen = 4,19 Erg. oder für das Quadratmeter als Querschnittseinheit 41900 Erg. ($4{,}28 \cdot 10^{-4}$ kg met.). Die Energiemenge erscheint sehr unbedeutend und könnte leicht durch die Gravitationsenergie weniger Tropfen gedeckt werden; es ist aber zu berücksichtigen, daß die erforderliche Energie mit der dritten Potenz der Schichtdicke und mit dem Quadrat der räumlichen Ladungsdichte anwächst, immerhin dürfte sie auch bei sehr hoher Veranschlagung dieser beiden Größen stets nur ein kleiner Bruchteil der bei der Gewitterbildung verfügbaren Gravitationsenergie des Niederschlags und ein ganz verschwindender Bruchteil der gesamten thermischen und kinetischen Energie des Kondensationsvorganges bleiben.

Wir haben den Kondensationsvorgang verfolgt bis zur Trennung der positiven Ionen von den negativ geladenen Kondensationsprodukten. Bei hinreichender Intensität und vertikaler Ausdehnung des aufsteigenden Luftstromes wird nun auch an den positiven Ionen Kondensation eintreten müssen, sobald die 6fache Übersättigung erreicht ist. Vermutlich wird es bei weitem nicht so häufig zu diesem Vorgang kommen, wie zu der Kondensation an den negativen Ionen; denn im Augenblick der Kondensation an den negativen Ionen werden zwar quantitativ alle negativen Ionen ausgefällt, in der folgenden Zeit werden aber wieder durch Ionisierung in dem Luftquantum, das kurz nach der Ausfällung der negativen Ionen ausschließlich positive Ionen enthielt, in gleicher Zahl positive und negative Ionen nachgeliefert. Man wird die Zahl der pro Kubikzentimeter und Sekunde in den in Betracht kommenden Höhen neugebildeten Ionen auf etwa 10 von jedem Vorzeichen schätzen können, es wird also unter Berücksichtigung der Molisierung einige Zeit verstreichen, bis wieder negative Ionen in erheblicher Anzahl nachgeliefert sind. Immerhin wird das Vorhandensein von wenigen negativen Ionen, an denen schon bei 4facher Übersättigung Kondensation eintritt, das Erreichen der 6fachen Übersättigung erschweren und vielleicht unmöglich machen müssen, wenn der aufsteigende Luftstrom nicht eine sehr große Geschwindigkeit besitzt, so daß kurze Zeit nach Erreichen der 4fachen Übersättigung auch die 6fache Übersättigung eintritt, bevor sich eine zu große Zahl negativer Ionen nachgebildet hat.

Es muß nun die Frage entstehen, ob die in der Atmosphäre vorgefundenen normalen spezifischen Ionenzahlen selbst bei vollständiger Trennung zur Erklärung der zahlreichen, intensiven und schnell aufeinander folgenden Entladungen hinreichen, die bei starken Gewittern oft innerhalb eines eng begrenzten Raumteiles zu beobachten sind. Wie schon gezeigt wurde, erfordert die Regenerierung der ursprünglichen spezifischen Ionenzahl, wenn einmal innerhalb eines bestimmten Volumens die Trennung der Ladungen vollzogen wurde, eine immerhin beträchtliche Zeit; es könnten daher schnell aufeinander folgende Entladungen nur da zustande kommen, wo durch den aufsteigenden Luftstrom aus den unteren Schichten immer neue, noch ionisierte Luftmassen zugeführt werden, wenn nicht noch außer der bisher betrachteten Quelle der Ionisation eine andere weit stärker und schneller wirksame vorhanden wäre. Ein solcher Ionisator muß in der Tat in Wirksamkeit treten, sobald innerhalb des starken Feldes, das durch die Trennung der positiven und negativen Ionenladungen entstehen muß, an irgendeiner Stelle ein negatives Ion die Ionisierungsspannung frei durchlaufen kann und damit die selbständige Strömung innerhalb des Feldes einleitet. In diesem Falle tritt Ionisierung durch Ionenstoß ein, wobei in kürzester Zeit Ionisationen geschaffen werden, welche die unter normalen Verhältnissen durch sekundäre Ionisatoren erzeugten spezifischen Ionenzahlen um das Vielfache einer Million übertreffen. Durch das Feld wird nun ein Teil dieser neugeschaffenen Ionen in der selbständigen Strömung verschoben und dadurch ein Teil der durch den Kondensationsvorgang getrennten Ladungen wieder neutralisiert werden müssen; auch wird durch Wiedervereinigung innerhalb der stark ionisierten Luft in sehr kurzer Zeit der weitaus größte Teil der durch Ionenstoß geschaffenen starken Ionisation verschwinden müssen. Immerhin wird aber für eine beträchtliche Zeit nach dem Erlöschen der selbständigen Strömung innerhalb des von der Entladung durchsetzten Volumens eine Ionisation zurückbleiben müssen, die bei weitem die unter normalen Verhältnissen erreichbare übertrifft; es wird also durch jede selbständige Strömung (disruptive Entladung) eine große Zahl von Ionen erzeugt werden, an welchen sofort wieder die Ladungstrennung durch den Kondensationsvorgang eintreten kann, sofern nur die nötige Energiezufuhr in Gestalt des aufsteigenden Luftstromes noch fortbesteht. Es ist ersichtlich, daß nach Eintritt der Ionenstoß-Ionisierung schon bei verhältnismäßig geringer Mächtigkeit der Schichten, innerhalb deren Ladungstrennung durch Kondensation erfolgt ist, erheblich stärkere Felder und Niederschlagsladungen zustande kommen können als bei ausschließlicher sekundärer Ionisierung.

Der betrachtete Vorgang der Ladungstrennung liefert im allgemeinen einen Überschuß an negativ geladenen Kondensationsprodukten; denn wie oben gezeigt wurde, kann die Kondensation des Wasserdampfes an den positiven Ionen nur unter Bedingungen eintreten, die weit schwerer realisiert werden können als die für die Kondensation an den negativen Ionen gelten-

den. Es wird also jeder Kondensationsvorgang der betrachteten Art auf der anderen Seite einen Überschuß an freien positiven Ionen erwarten lassen; es entsteht nun die wichtige Frage nach dem Verbleib der durch den Kondensationsprozeß getrennten negativen und positiven Ladungen. Die negativ geladenen Kondensationsprodukte werden, soweit nicht wieder Verdampfung eintritt, die Erde erreichen müssen und hier ihre Ladung beim Auftreffen auf den Boden abgeben oder auch vorher schon in selbständiger Strömung mit der influenzierten positiven Flächendichte an der Erdoberfläche zum Ausgleich bringen; zwar wird bei einer gegen den vertikalen Abstand von der Erdoberfläche in der horizontalen unendlich ausgedehnten Schicht von negativ geladenen Kondensationsprodukten während des Falles kein Anwachsen des negativen Potentialgefälles mehr stattfinden können, sofern die Kondensationsprodukte nicht eine zuvor unter ihnen befindliche Schicht mit positiver Ladung durchdringen, aber in Wirklichkeit wird es doch häufig zu einem starken Ansteigen des negativen Gefälles kommen können, sobald sich die negativ geladenen Niederschläge der Erde nähern, da im allgemeinen die räumliche Anordnung der Kondensationsprodukte weit davon entfernt zu sein pflegt, die Bedingung einer horizontalen Ausdehnung zu erfüllen, die unendlich groß ist gegen den vertikalen Abstand vom Erdboden. So wird es möglich sein, daß Entladungen von der Wolke zur Erde bei hinreichend starker Niederschlagsladung schon aus verhältnismäßig großer Höhe übergehen oder auch erst bei der Annäherung der fallenden Niederschläge an den Erdboden.

Die positiven Ladungen, die bei der Trennung frei geworden waren, werden zum Teil ebenfalls an Niederschläge gebunden zur Erde gelangen, da die positiven Ionen zum Teil bei Eintritt der 6fachen Übersättigung zu Kernen für die Kondensation geworden, zum Teil auch durch besondere Strömungsverhältnisse in der Wolke später durch Adsorption an schon vorher gebildete Niederschläge gebunden sein können. Ein Teil der positiven Ionen, die beim Eintritt der Kondensation an den negativen Ionen durch den aufsteigenden Luftstrom nach oben geführt wurden, wird frei bleiben und zu sehr erheblichen Höhen getragen werden können. Da es für die weiteren Folgerungen von großer Wichtigkeit ist, diese Höhen der Größenordnung nach zu kennen, wollen wir zunächst eine Schätzung durchzuführen versuchen.

Würde schon am Erdboden mit Wasserdampf gesättigte staubfreie Luft vorhanden gewesen sein, als der aufsteigende Luftstrom einsetzte, so hätte die Ausfällung der negativen Ionen bei 4facher Übersättigung, d. h. bei einer Expansion auf das 1,25fache Volumen oder auf den 0,8fachen Druck also in unserer Atmosphäre in etwa 1800 m Höhe beginnen können. Gewöhnlich liegt aber die Basis der Cumuli, d. h. die Schicht, in der die Sättigung erreicht wird und die Kondensation an den staubartigen Kernen beginnt, viele 100 m hoch; zu dieser Höhe kommt hinzu die Mächtigkeit der unteren Wolke, die ebenfalls eine beträchtliche zn sein pflegt. Nehmen wir zum Zweck der Schätzung die obere Grenze des Cumulus, d. h. des Bereiches, innerhalb dessen nur Sättigung und Kondensation an staubartigen Kernen besteht, nur zu 2000 m an, so wird die Höhe, in der das Ausfällen der negativen Ionen beginnt, auf rund 3800 m zu schätzen sein; die freien positiven Ionen werden in noch weit größeren Höhen geführt werden können. Das von uns gewählte Beispiel soll nur eine Anschauung von den zu erwartenden Höhen geben, es ist damit natürlich keineswegs bewiesen, daß nicht unter Umständen die Trennung der Ladungen und damit die Fortführung der positiven Ionen in weit größeren Höhen statthaben kann; so dürften nicht selten die sommerlichen Gewitterwolken bis zu Höhen von 8000 m vordringen. Was geschieht nun mit den in so große Höhe fortgeführten positiven Ionenladungen? Zunächst ist zu erwarten, daß diese positiven Ladungen infolge des Feldes, das sie erzeugen, die Tendenz zeigen werden, sich nach allen Richtungen auszubreiten. Diese Ausbreitung geschieht anfangs mit recht erheblicher Geschwindigkeit; um diese zu schätzen, wollen wir die Annahme machen, daß nach Trennung der Ladungen die positiven Ionen in einer Dichte von einer elektrostatischen Einheit pro Kubikmeter eine Kugel vom Radius 100 m erfüllten, deren Mittelpunkt in rund 5500 m Höhe liege. Die spezifische Geschwindigkeit der positiven Ionen ist hier etwa 900 elektrost. Einheiten, das Feld, das von der räumlichen Ladung der Kugel an ihrer Oberfläche ausgeübt wird, ist gleich

$$\frac{4\pi}{3} 10^{-6} \cdot 10^{1} = 4{,}19 \cdot 10^{-2} \text{ elektrost. Einheiten,}$$

die Ionen werden sich also an der Oberfläche der Kugel mit einer Geschwindigkeit von rund 38 cm/sec vom Mittelpunkt fortbewegen.

Es ist ersichtlich, daß bei größeren Ladungsdichten und größerer Ausdehnung der geladenen Volumina ganz erheblich größere Geschwindigkeiten vorkommen können, da die Geschwindigkeit sowohl proportional der Dichte als auch proportional dem Radius derjenigen Kugel wächst, die ursprünglich von positiver Ladung erfüllt war. Allerdings nimmt die Geschwindigkeit der Ionen mit fortschreitender Ausbreitung der Ladung schnell ab (umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung vom Kugelmittelpunkt), so daß sie in unserem Beispiel nur noch 0,38

cm/sec betragen würde, wenn sich die betrachtete Kugel auf einen Radius von 1000 m ausgebreitet hat. Die Ausbreitung der positiven Ladung in der Höhe wird noch dadurch unterstützt werden, daß der aufsteigende Luftstrom im allgemeinen in der Höhe an vertikaler Geschwindigkeit Einbuße erleiden muß und dafür in horizontaler Richtung sich ausbreiten wird. Es ist von Wichtigkeit, diese schnelle Ausbreitung der durch den Kondensationsvorgang abgetrennten positiven Ionenladungen zu beachten, da es sonst unverständlich bleiben würde, warum z. B. nach einem Gewitter nicht noch nach Abzug der Gewitterwolken am Boden ein erheblich das normale Feld an Stärke übertreffendes Potentialgefälle besteht; es wird so verständlich, daß zwar während des Falles von Niederschlägen unter der Gewitterwolke gewaltige Felder bestehen können, daß aber infolge der schnellen Ausbreitung der positiven Ladungen in der Höhe schon nach kurzer Zeit merklich der normale Zustand sich wieder einstellt.

Die in große Höhen geführten positiven Ladungen, müssen sich, wie wir gezeigt haben, schnell ausbreiten; sie werden im allgemeinen auch weite horizontale Wege vom Orte ihres Entstehens zurücklegen können, da sie sich in Höhen befinden, in welchen die horizontale Komponente der Luftbewegung von der Größenordnung 1000 cm/sec ist, während die vertikale Geschwindigkeitskomponente der Ionen nach erfolgter Ausbreitung der Ladung nur noch sehr gering ist. Ich habe in einer früheren Arbeit[1]) die Geschwindigkeit der Ionen in den betrachteten Höhen von der Ordnung 0,1 cm/sec gefunden; die positiven Ionen würden also in diesen Höhen (5—7000 m) Tausende von Kilometern in den horizontalen zurücklegen können, während sie unter der Wirkung des Feldes um 1000 m sinken. (Bei dieser Schätzung ist die vertikale Komponente der Luftbewegung außer acht gelassen worden; wie ich oben gezeigt habe, kann sie im Mittel über lange Zeiten nichts an dem Resultat dieser Überlegung ändern, da sie im normalen Konvektionsstrom im ganzen merklich gleiche positive Ladungen nach oben und nach unten befördern muß). Dieses würde der Fall sein, wenn wir lediglich den Überschuß an positiver Ladung zu betrachten hätten; in Wirklichkeit liegen die Verhältnisse wegen der Existenz des vertikalen Leitungsstromes ganz anders. Dieser führt der Größenordnung nach pro Sekunde durch jedes Quadratzentimeter des Leitungsquerschnittes 10^{-7} elektrostat. Einheiten; soll nun der stationäre Zustand erhalten bleiben, so wird in jedes Volumenelement durch den horizontalen Konvektionsstrom ebensoviel positive Ladung eingeführt werden müssen, als durch den vertikalen Leitungsstrom nach unten fortgeführt wird. Nun sind in den betrachteten Höhen nach meinen Messungen positive Überschüsse an räumlicher Ladungsdichte von der Ordnung 10^{-10} vorhanden. Es wird nun durchaus von den besonderen Verhältnissen abhängen, unter welcher Neigung gegen die Horizontale die resultierende Gesamtströmung verläuft. Nehmen wir die oben benutzte Ordnung der Horizontalkomponente der Luftbewegung in dieser Höhe zu 10^3 cm/sec an, so würden die Stromlinien der resultierenden Strömung unter 45^0 nach unten geneigt sein, d. h. es würde die durch den Kondensationsvorgang in die betrachteten Höhen geförderte positive Ladung in großen Höhen sich nur auf die unmittelbare Nachbarschaft des Niederschlagsgebietes verteilen können, wenn die horizontalen Feldkomponenten, die oben betrachtet wurden, nicht zu einer weiteren Ausbreitung in horizontaler Richtung führen würden. Die Strömungsverhältnisse in Höhen über 7000 m sind noch völlig unerforscht; es läßt sich aber vermuten, daß ein irgendwie erhebliches Potentialgefälle nur für verhältnismäßig kurze Zeit dort wird bestehen können. Dieses Feld wird, solange durch den Kondensationsvorgang in den darunter liegenden Schichten positive Ladungen in die Höhe geführt werden, zeitweise negativ sein können; sobald die Ausbreitung der positiven Ladungen in der Höhe erfolgt ist, wird ein infolge der hohen Leitfähigkeit der Luft in diesen Schichten verhältnismäßig starker Leitungsstrom den positiven Ladungsüberschuß in kurzer Zeit nach unten abführen.

In den Höhen zwischen 5000 und 3000 m wächst, wie die Messungen des Potentialgefälles im Freiballon ergeben haben, der Überschuß an positiver Ladungsdichte an und erreicht in den Schichten unter 3000 m (vergl. oben S. 648) etwa den Wert $^1/_{1000}$ elektrostat. Einheit/cbm (10^{-9} elektrostat.). Schon in den Höhen von 5000 bis 3000 m wird also der horizontale Konvektionsstrom merklich anwachsen können und in den unteren Schichten wohl imstande sein den aus der Höhe kommenden Überschuß an positiver Ladung über weite Gebiete zu verteilen. Das Anwachsen des positiven Ladungsüberschusses in den unteren Schichten wird vermutlich durch zwei Ursachen bedingt; einmal findet der weitaus größte Teil aller zu merklicher Ladungstrennung führenden Kondensationsprozesse in mittleren Höhen statt, der von ihnen gelieferte Überschuß wird also gar nicht in die höheren Schichten gelangen können und sich nur in den mittleren Höhen ausbreiten können. Andererseits nimmt die Leitfähigkeit der Luft nach unten hin stark ab; soll also der stationäre Strömungszustand erhalten bleiben, d. h. im wesentlichen der vertikale Leitungsstrom kon-

1) H. Gerdien, Gött. Nachr. 1905, Heft 3.

stant erhalten werden, so wird das Potentialgefälle nach unten hin im entsprechenden Verhältnis wachsen müssen, als die Leitfähigkeit abnimmt, d. h. es müssen in den unteren Schichten stärkere positive Ladungsüberschüsse angehäuft werden, da ja durch die Beziehung

$$\varrho = -\frac{d^2V}{dh^2} \cdot \frac{1}{4\pi}$$

mit der Zunahme des Gefälles notwendig ein Anwachsen der räumlichen positiven Dichte verknüpft ist. Die Verteilung der positiven Ladungen in horizontaler Richtung wird außerordentlich durch Adsorptionsschichten (Wolkenschichten, Dunstschichten) befördert werden, die, wie oben gezeigt wurde, den horizontalen Konvektionsstrom sehr verstärken können.

Diese Verteilung der durch Kondensationsvorgänge hochgeführten positiven Ladungen durch den horizontalen Konvektionsstrom wird im einzelnen je nach den Schichtungs- und Strömungsverhältnissen der Luft in mittleren Höhen zu sehr interessanten Fragestellungen Anlaß geben können; hier soll nur auf eine der wichtigsten Fragen eingegangen werden, die sich auf das „luftelektrische Klima" solcher Gebiete bezieht, die sich durch Niederschlagsarmut auszeichnen. Erreichen diese Gebiete hinreichende Größe, oder drängen sich die Niederschläge auf eine kurze Zeit im Jahre zusammen, so wird in der niederschlagsarmen Zeit nur ein weit kleineres Potentialgefälle in solchen Gebieten bestehen können, wenn ihnen nicht durch besondere Luftströmungen in mittleren Höhen ein positiver Ladungsüberschuß aus einem Niederschlagsgebiet zugeführt wird. Die auffallend kleinen Werte des Potentialgefälles, die in dem niederschlagsarmen Wüstengebiet Nordafrikas gefunden werden, obgleich dort keine die normale Größe überschreitende Leitfähigkeit zu herrschen scheint, könnten vielleicht als erste Bestätigung des oben gezogenen Schlusses angesehen werden.

Wie ist also nach der dargelegten Hypothese des Elektrizitätshaushalts der unteren Atmosphäre das Gesamtbild der elektrischen Strömungen beschaffen? Wir haben in den Niederschlagsgebieten die Trennung der Ladungen in mittleren Höhen; die negativen Ladungen werden im Überschuß durch einen starken vertikalen Konvektionsstrom der Erde zugeführt, die positiven werden ebenfalls im vertikalen Konvektionsstrom in die mittleren Höhen und zum Teil über diese hinaus gehoben. Hier breiten sie sich aus und werden in der Zirkulation der Schichten mittlerer Höhen in horizontalem Konvektionsstrom über die niederschlagsfreien Gebiete verteilt, während sie zugleich im vertikalen Leitungsstrom, der unter dem von ihnen ausgehenden Feld besteht, zur Erde abströmen, wobei die Stromlinien der aus Konvektions- und Leitungsstrom resultierenden Strömung je nach den Verhältnissen mehr oder minder gegen die Horizontale geneigt sein können. Im Erdboden muß sich der Stromkreis schließen; hier strömen (Erdstrom) die im normalen vertikalen Leitungsstrom herunterkommenden positiven Ladungen nach den Niederschlagsgebieten hin ab, um dort die im gestörten vertikalen Konvektionsstrom mit den Niederschlägen der Erde zugeführten negativen Ladungen zu neutralisieren. Es darf nicht behauptet werden, daß die vielfach beobachteten Erdströme ausschließlich als Teile des hier betrachteten Elektrizitätskreislaufes der unteren Atmosphäre erklärt werden müssen; ein Teil derselben wird sehr wohl anderen Ursachen, insbesondere den Induktionswirkungen horizontaler Ströme in den höchsten Schichten der Atmosphäre zuzuschreiben sein. Es wird eine wichtige und lohnende Aufgabe für das Zusammenwirken der Erdmagnetiker und Luftelektriker sein, den nach dieser Hypothese wesentlich an die Niederschläge gebundenen Stromkreis quantitativ zu kontrollieren.

Es bleibt nur noch die Frage zu beantworten, inwiefern die bisher ausgeführten Messungen der Niederschlagsladungen in quantitativer Hinsicht mit der Hypothese im Einklang stehen. Leider sind Messungen der Niederschlagselektrizität bisher nur an zwei Punkten in der gemäßigten Zone (Wolfenbüttel und Göttingen) ausgeführt worden; Beobachtungen aus den Tropen, die für eine vollkommene Bilanz unerläßlich sein werden, da der weitaus größte Teil aller Niederschläge in den Tropen fällt, fehlen noch ganz. Es wird sich daher vorläufig nicht um eine genaue Vergleichung der durch Niederschläge der Erde zugeführten negativen Ladung mit der im normalen vertikalen Leitungsstrom fortgeführten handeln können, sondern es wird vorerst nur eine rohe Schätzung möglich sein, die lediglich den Nachweis erbringen kann, daß die beobachteten Konvektionsströme beim Fall von Niederschlägen der Größenordnung nach die gleichen Elektrizitätsmengen befördern, die im normalen vertikalen Leitungsstrom bewegt werden. Für unsere Breiten kann man die mittlere Dauer des Falles von Niederschlägen mindestens zu 5 Proz. der Gesamtzeit ansetzen; während dieser Zeit besteht also der mit den Niederschlägen verbundene Konvektionsstrom. Die Größe dieses Stromes unterliegt, wie die Messungen von J. Elster und H. Geitel und meine Registrierungen ergeben haben, ganz außerordentlichen Schwankungen, sowohl der absoluten Größe, als auch der Richtung nach. Während bei Gewittern (vergl. oben) die von den Niederschlägen mitgeführten Ladungen nicht selten eine Stromdichte des Konvektionsstromes von 10^{-12} Amp/cm^2 ergeben und auch bei Böenregen nur wenig dahinter zurückbleibende Strom-

dichten vorkommen, sinken diese bei den Niederschlägen vom Landregentypus, von denen ich annehme, daß sie im allgemeinen nur durch Kondensation an staubartigen Kernen zustande kommen, unter etwa 10^{-14} Amp/cm^2 herab. Bei dem turbulenten Charakter dieser Konvektionsströme ist erklärlich, daß es nur unter großen Schwierigkeiten gelingt, einwandsfreie Registrierungen zu erhalten (die weitaus häufigste Schwierigkeit besteht darin, die Empfindlichkeit des registrierenden Elektrometers jederzeit so zu regulieren, daß das Meßbereich einerseits nicht überschritten wird, andererseits aber auch die Registrierung bei gut meßbaren Ausschlägen erfolgt). Nach meinem bisher gesammelten Material schätze ich die mittlere Stromdichte bei Niederschlägen (absolut) auf etwa 10^{-14} Amp/cm^2; in Anbetracht der Schwierigkeiten der Registrierung und des noch geringen Umfangs meines Materials ist es durchaus wahrscheinlich, daß sich aus einem größeren Material ein anderer Mittelwert (vermutlich ein größerer) ergeben wird. Nun überwiegt bei Niederschlägen im allgemeinen die zur Erde geführte negative Ladung die positive; der Betrag des negativen Überschusses in Prozenten der gesamten herunter beförderten Ladung variiert stark von Fall zu Fall und scheint auch abhängig vom Charakter der Niederschläge zu sein. Nach meinen bisherigen Erfahrungen scheint die Ausbeute an negativer Ladung bei Niederschlägen vom Böentypus prozentual größer zu sein[1]) als bei Gewittern und Landregen; man wird sie im Mittel mit 10 Proz. der Gesamtladung sicherlich zu niedrig veranschlagen. Es würde also während 5 Proz. der Gesamtzeit mit einem von der Atmosphäre zur Erde fließenden Strome negativer Elektrizität zu rechnen sein, dessen Stromdichte etwa 10^{-15} Amp/cm^2 beträgt; dieser Strom wäre das Äquivalent eines kontinuierlich bestehenden Stromes von der mittleren Stromdichte $0{,}5 \cdot 10^{-16}$ Amp/cm^2. Oben hatte ich die mittlere Dichte des vertikalen Leitungsstromes zu $2{,}4 \cdot 10^{-16}$ Amp/cm^2 geschätzt; es ergibt sich also aus dem bisher vorhandenen, dem Umfang nach noch unzureichenden Material für unsere Breiten, daß die im Mittel durch den gestörten vertikalen Konvektionsstrom bei Niederschlägen zur Erde beförderten Ladungen der Größenordnung nach mit den im normalen vertikalen Leitungsstrom bewegten Ladungen übereinstimmen.

Es wird die Hauptaufgabe der luftelektrischen Forschung in den nächsten Jahren sein müssen, einwandsfreies Beobachtungsmaterial zu sammeln, das sich auf alle Zonen und mindestens über die Dauer von zwei Jahren erstreckt. Die Beobachtungen müssen sich in erster Linie auf Potentialgefälle- und Leitfähigkeitsmessungen am Boden, d. h. auf die Bestimmung des vertikalen Leitungsstromes und in zweiter Linie auf die Niederschlagselektrizität, d. h. den gestörten vertikalen Konvektionsstrom beziehen. Bei letzteren wird besonders auf die Bestimmung des zur Erde geförderten Ladungsüberschusses Bedacht zu nehmen sein; diesen Messungen wird besonderer Wert in den Hauptniederschlagsgebieten der Erde zukommen.

Göttingen, September 1905.

(Eingegangen 22. September 1905.)

1) Man wird in Zukunft auch darauf bedacht sein müssen, die Ladungen zu bestimmen, welche bei Blitzen zwischen Erde und Wolke der Erde zugeführt werden; vielleicht wird durch Berücksichtigung dieser Ladungen die Ausbeute an negativen Ladungsüberschüssen bei Gewittern einen größeren Wert annehmen.

Über einige Eigenschaften der α-Strahlen des Radiums.

Von Henri Becquerel.

Vor zwei Jahren habe ich gezeigt[1]), daß die α-Strahlen des Radiums folgende bemerkenswerten Eigenschaften aufweisen: 1. das Bündel der α-Strahlen verhält sich wie ein homogenes, d. h. als bestehe es aus Teilchen, welche alle dieselbe Ablenkbarkeit in einem Magnetfelde besitzen; 2. die Bahn dieser Teilchen in einer Ebene senkrecht zum Felde und in Luft ist keine Kreisbahn, sondern vielmehr eine Kurve, deren Krümmungsradius mit der Länge der Bahn wächst.

Das Experiment, welches diese beiden Eigenschaften erkennen läßt, besteht darin, daß man in das Feld eines Elektromagneten und parallel zur Feldrichtung eine lineare Strahlungsquelle bringt, welche von einigen Körnchen eines Radiumsalzes gebildet wird, die über einer geradlinigen Nut in einem Bleiklotz angehäuft sind. Das ausgesandte Strahlenbündel wird durch einen engen Spalt begrenzt, welcher durch zwei horizontale Metallplatten gebildet wird, die als Schirm dienen. Oberhalb des Spaltes bringt man eine photographische Platte, horizontal oder geneigt, an, welche die durch die Strahlungsquelle und den Spalt definierte Ebene normal schneidet. Man erzeugt nun ein intensives Magnetfeld, welches man nach Verlauf der halben Expositionszeit umkehrt, und man erhält so auf der parallelen photographischen Platte zwei geradlinige und parallele Bilder des Bündels, welche aber nicht dispergiert sind, und auf der geneigten Platte zwei gleichfalls sehr feine und nicht dispergierte divergierende Bilder. Beide Anordnungen gestatten, für eine und die-

1) C. R. **136**, 199, 431, 977, 1517, 1903.

selbe zum Feld senkrechte Ebene die Lage derjenigen Punkte zu bestimmen, welche der Strahlungsquelle, dem Spalt und einem bestimmten Punkte der Bahn entsprechen. Diese drei Punkte, von denen zwei fest sind, bestimmen eine Kurve, deren Radius R für ein und dasselbe Magnetfeld H theoretisch konstant sein müßte, so daß das Produkt RH gleich wäre dem Produkt aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit v und dem Verhältnis $\frac{m}{e}$ der Masse zur mitgeführten positiven Ladung.

Nun zeigt aber der Versuch, daß für die von einem Radiumsalze ausgesandten α-Strahlen und für ein und dasselbe magnetische Feld die Kurven derart sind, daß sie definiert werden durch Radien, welche mehr und mehr wachsen, je weiter sich der betrachtete Punkt der Bahn von der Strahlungsquelle entfernt.

In den oben zitierten Mitteilungen habe ich einige Werte für diese Radien und für die Produkte RH veröffentlicht, welche ich teils auf verschiedenen Platten, teils bei geneigter Anordnung auf einer und derselben Platte erhalten habe. Das Produkt RH, wie es durch die oben definierten Kurven bestimmt wird, ist kleiner als das theoretische Produkt $H\varrho = \frac{m}{e} v$, in welches der Krümmungsradius derjenigen Kurve eingeht, welcher die Bahn wirklich folgt. Einer der in den oben genannten Mitteilungen erwähnten Versuche ergab beispielsweise die folgenden numerischen Werte:

Abstand der Strahlungsquelle vom Spalt 2,04 cm.
$H = 9{,}955$ C. G. S.

Abstand von der Strahlungsquelle cm	R cm	ϱ cm	$H\varrho$
2,1383	29,25	37,8	376000
2,2366	29,55	41,6	415000
2,3349	30,05	46,1	460000
2,4332	30,29	49,4	491000
2,5215	30,77	58,7	585000
2,6298	31,21	64,4	641000
2,7281	31,69		

Des weiteren sei daran erinnert, daß man nach den von Herrn Des Coudres für die α-Strahlen und im Vakuum, wo man annehmen darf, daß die Bahn kreisförmig bleiben muß, bestimmten Werten von $\frac{m}{e}$ und v, erhalten würde: $RH = 256000$.

Es scheint also, also könne man aus diesen Bestimmungen schließen, daß der Krümmungsradius der Bahn der α-Strahlen in Luft längs der Bahn zunimmt. Ein durchaus ähnliches Ergebnis hat Herr Wien mit einer gewissen Kategorie Kanalstrahlen erhalten.

Außerdem zeigen die Bilder der durch ein Magnetfeld abgelenkten α-Strahlen dieselbe Feinheit in einem Felde von 20000 C. G. S.-Einheiten und in einem um die Hälfte schwächeren Felde. Die Strahlung verhält sich also, als ob sie homogen wäre, wenigstens innerhalb der Grenze der Genauigkeit, welche die erhaltenen Bilder gewährleisten.

Die einfachste Hypothese zur Erklärung der Zunahme des Krümmungsradius würde die Annahme sein, daß das Verhältnis $\frac{m}{e}$ wächst, und daß dieser Zuwachs wahrscheinlich auf die Masse m zurückzuführen ist, welche auf ihrem Wege materielle Teilchen aufnehmen könnte.

Diese Hypothesen und die Tatsache der Zunahme des Produktes $\frac{m}{e} v$ selbst sind von verschiedenen Autoren nicht anerkannt worden, und ihre Auslegungen haben mich zu den Versuchen geführt, über welche weiter unten berichtet werden soll.

In einer sehr interessanten Arbeit über die α-Strahlen des Radiums[1]) haben die Herren Bragg und Kleemann gezeigt, daß das Gesetz, welches die Ionisierung der Luft als Funktion der Entfernung von der Strahlenquelle darstellt, mehrere plötzliche Änderungen aufweist, deren erste bei etwa 3 cm Entfernung vom Radium auftritt. Sie haben dann den Gedanken ausgesprochen, daß die Absorption die α-Strahlen verzögere. In der Strahlungsquelle selbst sollten die verschieden tiefen Schichten verschieden stark verzögerte Strahlen durch die übergelagerten Schichten entsenden, und ihre Wirksamkeit würde in verschiedenen Abständen von der Strahlungsquelle ein Ende finden. Nach der Ansicht der genannten Autoren würde ein Bündel aus Strahlen, welche eine verschiedene Durchdringungsfähigkeit besitzen, und deren Bahnen um so weniger gekrümmt wären, je weiter sie vorwärts dringen, für den Ort des Punktes der totalen Absorption, der allein als wirksam angenommen ist, eine Bahn ergeben, deren Krümmungsradius zunehmen würde, und welche auf der abgelenkten Seite einen scharfen und auf der nicht abgelenkten einen verwaschenen Rand haben würde.

Die Bilder, welche ich erhalten habe, bieten diesen Anblick nicht.

Kürzlich[2]) hat Rutherford diese Hypothesen angenommen und durch ein gewichtiges Experiment gestützt. Er hat genau die von mir angewandte und weiter oben beschriebene Versuchsanordnung wiederholt, indessen im Vakuum gearbeitet und als aktive Quelle nicht mehr ein Radiumsalz benutzt, sondern einen durch Radiumemanation aktivierten Draht. Herr Ruther-

1) Phil. Mag. (6) **8**, 719, 726, 1904; Jahrbuch d. Rad. u. Elektr. **2**, 4—18, 1905.
2) Phil. Mag. (6) **10**, 163, 1905.

ford hat nun beobachtet, daß wenn er diesen Draht mit einer wachsenden Anzahl von Aluminiumfolien bedeckte, er auf den zum Spalt parallel angeordneten photographischen Platten parallele Bilder erhielt, welche für ein und dasselbe Magnetfeld mehr und mehr voneinander entfernt waren. Das führte zu dem Schluß, daß die untersuchten Strahlen bei ihrem Durchgang durch wachsende Schichtdicken von Aluminium mehr und mehr ablenkbar werden und daß diese Vergrößerung der Ablenkbarkeit die Wirkung einer Geschwindigkeitsabnahme sei.

Herr Rutherford hat dann den Gedankengang der Herren Bragg und Kleemann angenommen und die Annahme hinzugefügt, daß die von mir beobachtete Vergrößerung des Krümmungsradius längs der Bahn der α-Strahlen zu erklären sei durch die Gegenwart von Strahlen verschiedener Geschwindigkeit.

Dieses gleichzeitige Vorhandensein von Strahlen verschiedener Geschwindigkeit würde das Vorhandensein einer magnetischen Dispersion in sich schließen. Eine solche besteht indessen auf den von mir erhaltenen Bildern nicht.

Ich habe daher beschlossen, mit meinen alten Apparaten ein Experiment zu wiederholen, welches gestattet, auf einer und derselben parallel zum Spalt angeordneten photographischen Platte, ein magnetisch abgelenktes α-Strahlenbündel des Radiums zu erhalten, dessen eine Hälfte keinerlei Schirm durchdringt, und dessen andere Hälfte verschieden starke Aluminiumschirme durchdringen kann. Ein vertikaler aus Glimmerplatten gebildeter Schirm erstreckt sich von der Strahlungsquelle zum Spalt und vom Spalt bis zur Platte und verhindert eine gegenseitige Beeinflussung der beiden Hälften des Strahlenbündels. Die bei den verschiedenen Versuchen durchstrahlten Schichtdicken des Aluminiums variierten von einem geschlagenen Aluminiumblättchen bis zu einer Schichtdicke von 0,034 mm, welch letztere derjenigen der von Herrn Rutherford benutzten Schirme durchaus vergleichbar ist. Die Aluminiumschirme wurden teils auf der Strahlungsquelle, teils auf dem Spalt, teils in einigen Millimetern Entfernung von der photographischen Platte angebracht. In allen Fällen lagen die beiden parallelen Bilder der beiden Hälften des abgelenkten Strahlenbündels gegenseitig in ihrer Verlängerung und zeigten nicht die Verschiebung, welche man nach der Veröffentlichung des Herrn Rutherford hätte erwarten müssen.

Die nachstehende Figur gibt eins der erhaltenen Bilder wieder.

Daraus muß man also schließen, daß die von Herrn Rutherford beobachtete Eigenschaft den besonderen Strahlen zukommt, welche der von ihm benutzte aktivierte Draht aussandte, daß hingegen beim Radium, und besonders bei dem in meinen Versuchen zur Verwendung gelangten Radiumsalz, die von Herrn Rutherford angegebene Verzögerung nicht auftritt.

Dieser neue Versuch bestätigt die Schlüsse, welche ich aus meinen ersten Beobachtungen gezogen hatte und führt dazu, die Erklärungsweise der Herren Bragg und Kleemann und Rutherford abzulehnen. Ich will noch hinzufügen, daß die oben angegebenen Zahlen sich auf Abstände von der Strahlungsquelle beziehen, welche kleiner sind als der der ersten von Herrn Bragg beobachteten Veränderung entsprechende.

In allerjüngster Zeit endlich [1]) haben die Herren Bragg und Kleemann neben anderen interessanten Tatsachen beobachtet, daß bei der Untersuchung der Ionisation der Luft durch α-Strahlen, welche zuvor dünne Metallschichten durchdrungen haben, die Kurven, welche man erhält, wenn man als Abszissen die Ionisation und als Ordinaten den Abstand von der Strahlungsquelle aufträgt, daß diese Kurven aus der ohne Schirm erhaltenen Kurve dadurch abgeleitet werden können, daß man alle Ordinaten um einen und denselben Betrag vermindert, welcher mit der Natur des Schirmes variiert und um so größer ist, je größer die Schirmstärke und seine Dichtigkeit sind.

Die Verfasser erklären diese Tatsache durch die Annahme, daß die die α-Strahlen bildenden Teilchen in dem Schirm einen Geschwindigkeitsverlust erleiden. Wir haben eben gesehen, daß der Versuch eine solche Auslegung nicht rechtfertigt.

Man findet in der oben zitierten Rutherfordschen Mitteilung noch andere Schlüsse, denen man die von ihm angenommene Allgemeingültigkeit nicht zuerkennen kann. Der Verfasser beobachtete, daß für die α-Strahlen in Luft die ionisierende Wirkung, die Wirkung auf eine photographische Platte und die Erregung der Phosphoreszenz in derselben Entfernung von der Strahlungsquelle aufhören. Hieraus schließt er, daß in dieser Entfernung die Geschwindigkeit der Strahlen auf einen kritischen Wert reduziert sei, unterhalb dessen sie diese verschiedenen Wirkungen nicht mehr ausüben.

Nun zeigen auch die α-Strahlen des Radiums die gleiche Erscheinung des fast plötzlichen

[1]) Phil. Mag. (6) 10, 318, 1905.

Aufhörens der verschiedenen Strahlungsmanifestationen in einer gewissen Entfernung von der Strahlungsquelle, und wir haben eben gesehen, daß diese Strahlen keine merkliche Geschwindigkeitsabnahme zeigen. Wenn also die verschiedenen Manifestationen alle gleichzeitig aufhören, so bedeutet dies, daß die gesamte Strahlung hier absorbiert ist, und die geistreiche Hypothese einer kritischen Geschwindigkeit erscheint nicht notwendig. Der Verfasser verallgemeinert noch denselben Gedanken und folgert, daß das Phosphoreszenzphänomen das Resultat einer Ionisation sei, und daß im besonderen die szintillierende Phosphoreszenz die Wirkung der Wiedervereinigung der durch die α-Strahlen frei gemachten Ionen sei.

Wenn, wie es wahrscheinlich ist, die Phosphoreszenz der Mineralien im allgemeinen in einer chemischen Reaktion besteht, so kann man denselben Gedanken ausdrücken, wenn man eine Ionisation unter der Einwirkung der erregenden Ursache annimmt. Andererseits aber läßt sich die gleiche Auslegung nicht auf das Szintillieren anwenden. Diese nähert sich den durch mechanische Wirkungen erhaltenen Leuchterscheinungen. Ich habe gezeigt, [1]) daß man im Gesichtsfelde eines Mikroskops die Wirkung der α-Strahlen von derjenigen der β-Strahlen trennen und beide gleichzeitig beobachten kann. Wenn nun der untersuchte Körper für beide Strahlenarten empfindlich ist, wie beispielsweise das Baryumplatincyanür, so erkennt man, daß nur die α-Strahlen eine szintillierende Phosphoreszenz liefern, während unter der Wirkung der β-Strahlen das Phosphoreszenzlicht der gleichen Substanz ein kontinuierliches ist. Bei der besonders für α-Stahlen empfindlichen Sidotblende geben die großen Kristalle ein kontinuierliches Licht; das Szintillieren tritt nur bei den Massen der hinreichend kleinen Kristalle auf und wird dann um so lebhafter, je kleiner und zahlreicher diese sind. Diese Tatsachen in Verbindung mit den von mir in der obenerwähnten Veröffentlichung beschriebenen lassen sich erklären unter der Annahme, daß jedes kleine Aufblitzen, das mit den anderen zusammen das Szintillieren ergibt, die Wirkung eines molekularen Zerfalls infolge der fortgesetzten Einwirkung der α-Strahlung sei. Man kann übrigens ein Spinthariskop ohne Radium erhalten, wenn man Kristalle von Sidotblende zwischen zwei Glasplatten zerreibt.

Ich will noch hinzufügen, daß die Phosphoreszenz, nicht nur die der Sidotblende, sondern die aller Materialien, welche ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, wenn einmal erregt, sei es nun durch Kathodenstrahlen, durch Licht oder durch Wärme, eine kontinuierliche Erscheinung ist, in welcher man eine Reihe aufeinander folgender Lichtblitze nicht unterscheidet.

Jede Phosphoreszenz ist also nicht eine intermittierende Erscheinung von der Art der szintillierenden Phosphoreszenz, und auch in diesem Punkte, glaube ich, muß man die sehr allgemeine Hypothese zurückweisen, welche Herr Rutherford auf das Vorhandensein einer Verzögerung gegründet hat, welche bei den α-Strahlen des Radiums nicht zu existieren scheint.

(Aus dem Französischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 12. September 1905.)

1) C. R. **137**, 629, 1903.

Mitteilungen aus dem physikalischen Institute der Universität Pisa (Direktor: A. Battelli).

Nr. 24 [1]): Augusto Occhialini, Die Dielektrizitätskonstante der Luft in ihrer Beziehung zu ihrer Dichte.

Ich habe mir die Aufgabe gestellt, die Dielektrizitätskonstante der Luft für wachsende Drucke bis zu 200 Atm. zu untersuchen und gebe in der vorliegenden Notiz einen Überblick über meine Versuche, wobei ich mir eine vollständigere Darlegung für eine demnächst in dem Nuovo Cimento zu erfolgende Veröffentlichung vorbehalte.

Meine Messungen sind durch Kapazitätsvergleichung ausgeführt worden. Jeder der beiden zu vergleichenden Kondensatoren C, C' (Fig. 1) besitzt eine Belegung, die mit einem Pol eines kleinen Induktionsapparates $\mathcal{J}$ in Verbindung steht; die beiden anderen Belegungen sind mit den beiden Quadrantenpaaren eines Elektrometers E verbunden, dessen Nadel zusammen mit dem anderen Pol des Induktionsapparates mit der Erde in Verbindung steht. Der eine der Kondensatoren besitzt als Dielektrikum die Substanz, deren Dielektrizitätskonstante zu messen ist. Der andere befindet sich in Luft und seine Kapazität läßt sich variieren, indem man die eine der Belegungen verschiebt.

1) Nr. 23: diese Zeitschr. **6**, 629, 1905.

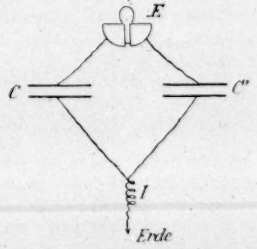

Fig. 1.

Auf diese Weise werden die in ersterem erzeugten Kapazitätsveränderungen kompensiert und nach denen des anderen berechnet.

Die Anwendung dieser Methode erfordert demgemäß eine schnell wechselnde E. M. K., einen Kondensator von veränderlicher Kapazität, den ich Vergleichskondensator nennen will und einen Kondensator von festen Dimensionen, der in das zu untersuchende Dielektrikum eintaucht; diesen will ich mit Versuchskondensator bezeichnen.

Um eine wechselnde elektromotorische Kraft zu erzielen, habe ich einen Hochfrequenz-Wechselstromerzeuger von der Lammeschen[1]) Form benutzt, der einen Strom von 10 Amp. bei 110 Volt mit 10000 Perioden pro Sekunde geben kann.

Der Kondensator von veränderlicher Kapazität wird von zwei Spiegelglasplatten gebildet, die versilbert, aber nicht lackiert sind. Die Versilberung ist an den Rändern abgekratzt, so daß nur ein mittlerer Streifen übrig bleibt. Die eine Platte ist auf einer hierfür bestimmten Bank befestigt und trägt an den Rändern Stücke harten Holzes von der in Fig. 2 angegebenen

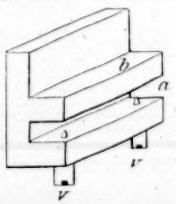

Fig. 2.

Form, die an der Platte hinter der Aushöhlung a vermittels zweier Druckschrauben w, w befestigt sind. Auf der Fläche b liegt die andere Platte auf, die sich auf dieser vollständig frei verschieben läßt; der die Fläche begrenzende Flügel verhindert jede seitliche Bewegung der Platte. Die Verschiebungen werden auf sie von außen vermittels einer Schraube übertragen, und die Lage der beweglichen Platte wird nach der Ablesung 1 bestimmt, die man auf einer mit ihr verschiebbaren Glasskala vornimmt und die vermittels eines mit Fadenkreuz versehenen Fernrohres erfolgen kann.

Der Versuchskondensator besteht aus einer Reihe übereinander gelegter Messingscheiben; die Scheiben gerader Ordnung sind auf eine Säule aufgereiht und bilden die eine der Belegungen; die ungerader Ordnung sind auf einer anderen Säule aufgereiht und bilden die andere Belegung. Zu diesem Zwecke besitzt jede Scheibe zwei Durchbohrungen, eine kleinere und eine größere; die erstere dient zum Aufreihen auf der betreffenden Tragsäule und die andere zum Durchgang der anderen Säule, die auf diese Weise mit der Scheibe nicht in Berührung steht. Die beiden Säulen sind auf einem Glasuntersatz befestigt.

Die Kompression der Gase erfolgt innerhalb eines stählernen Behälters von Zylinderform von 10 cm innerem Durchmesser und 50 cm Höhe (Fig. 3). Auf dem Boden liegt der Unter-

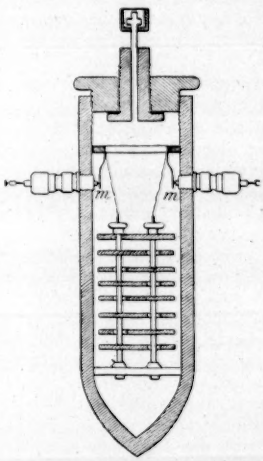

Fig. 3.

satz des Versuchskondensators, dessen Belegungen mit zwei Messingfedern m, m in Verbindung stehen, die an den Seitenwänden des Behälters befestigt und gegen diesen vermittels eines Ebonitringes isoliert sind. Der Behälter ist mit einem Pfropfen geschlossen, in den die zu der Kompressionspumpe führende Verbindungsröhre eingesetzt ist.

Die elektrische Verbindung nach außen erfolgt vermittels zweier Messingstäbchen, die durch die Wände des Behälters hindurchgehen und die Verbindungsfedern m, m berühren.

Die Stäbchen sitzen auf Ebonitstücken; diese sind ihrerseits zwischen Stahlstücken, die an dem Behälter festgeschraubt sind, eingefügt (Fig. 4).

Zur Messung der Dichte habe ich den von Professor L. Magri in seiner Arbeit: „Die Beziehung zwischen dem Brechungsindex und der Dichte der Luft“[1]) benutzten Apparat angewandt; ich verweise auf obige Arbeit, in der man eine Beschreibung des Apparates und die Darstellung der Meßmethode finden wird.

1) Trans. Am. Inst. El. Eng. **21**, 405, 1904.

1) Siehe diese Zeitschr. **6**, 629, 1905.

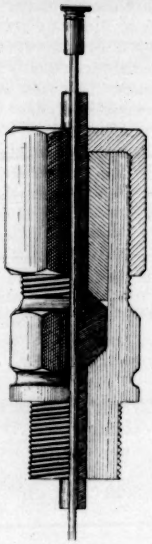

Fig. 4.

Der von mir benutzte Kompressor wird von einem 7pferdigen Motor betrieben und erlaubt die Erzielung von 200 Atmos. Druck. Die komprimierte Luft wird zunächst von ihrer Kohlensäure und von ihrem Wasserdampf befreit und geht dann in eine Kupferröhre, die sie in den Kompressionsbehälter und in den Dichtemesser einführt.

Die Formel, die zur Berechnung der Dielektrizitätskonstante verwandt werden muß, ist sehr leicht aufzustellen.

Es sei C_0 die Kapazität des Versuchskondensators und l_0 die dem Gleichgewicht der beweglichen Platte des Vergleichskondensators entsprechende Stellung. Wir wollen annehmen, daß aus irgendeinem Grunde die Kapazität des Versuchskondensators eine Veränderung erfahre, derart, daß sie den Wert C_1 annimmt; es sei l_1 die entsprechende Stellung der beweglichen Platte des Vergleichskondensators; wenn wir annehmen, daß die Veränderungen der Kapazität C den Längenveränderungen l proportional sind, so ist die irgendeinem Werte l des Vergleichskondensators entsprechende Kapazität

$$C = C_0 + \frac{C_1 - C_0}{l_1 - l_0}(l - l_0).$$

Wenn C_0 die Kapazität des Versuchskondensators darstellt, wenn sein Dielektrikum eine Konstante K_0 besitzt und C die desselben Kondensators, wenn die Konstante gleich K ist, so erhalten wir

$$\frac{K}{K_0} = \frac{C}{C_0} = 1 + \frac{C_1 - C_0}{C_0}\,\frac{l_0 - l_1}{l_1 - l_0}.$$

Um daher die Messung der Dielektrizitätskonstante nach der oben dargelegten Methode auszuführen, muß man zunächst den Wert des Verhältnisses $\frac{C_1 - C_0}{C_0(l_1 - l_0)}$ für Werte C_1, C_0 bestimmen, die das Meßintervall in sich begreifen; hierauf muß man sich der vorhin angenommenen Proportionalität zwischen den Kapazitätsveränderungen und den Verschiebungen der beweglichen Platten des Vergleichskondensators versichern.

Um die vorerwähnte Bestimmung auszuführen, habe ich an Stelle des Versuchskondensators einen Hilfskondensator gesetzt, dessen Kapazität sich berechnen läßt und der aus zwei recht ebenen, auf beiden Seiten versilberten Glasplatten besteht. Die eine dieser Platten ist wagerecht festgemacht und die andere parallel zur ersteren an einer Mikrometerschraube aufgehängt, vermittels deren man ihr Vertikalverschiebungen erteilen kann. Man entfernt die bewegliche Platte von der festen, um einen gewissen Betrag d_0 und bestimmt die entsprechende Gleichgewichtslage l_0 des Vergleichskondensators. Hierauf variiert man die Entfernung der Platte vom Kondensator vermittels der Mikrometerschraube. Es sei d_1 die neue Entfernung und l_1 die entsprechende Gleichgewichtslage des Vergleichskondensators.

Der Wert des Verhältnisses

$$\frac{C_1 - C_0}{C_0}$$

wird aus der Formel berechnet

$$\frac{C_1 - C_0}{C_0} = \frac{d_0 - d_1}{d_1}\left(1 + \frac{0{,}44\ d_1}{a}\right),$$

in der a die Seitenlänge jeder Platte des Hilfskondensators bezeichnet. Der zweite Ausdruck in der Klammer bezieht sich auf die Randkorrektion.[1])

Es wurden viele Bestimmungen des Verhältnisses

$$\frac{C_0}{C_1 - C_0}(l_1 - l_0)$$

ausgeführt und der Mittelwert aller auf den Teilstrich 33 der Skala des Vergleichskondensators bezogenen Ergebnisse beträgt 101,50.

Die Formel, die uns zur Berechnung der Dielektrizitätskonstante dienen wird, ist daher

$$K = K_0\left(\frac{l - l_0}{101{,}50 + (l_0 - 33)} + 1\right),$$

wobei K_0 den Wert der Dielektrizitätskonstante von Luft unter den Bedingungen angibt, unter denen

1) Maxwell, Band I, § 293.

die Anfangsablesung l_0 ausgeführt worden ist, d. h. bei Atmosphärendruck.

In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte von sechs Versuchsreihen nebst dem mittleren Fehler einer jeden Bestimmung aufgeführt. In ihr habe ich auch den Ausdruck $\frac{K-1}{K+2}\cdot\frac{1}{D}$ berechnet, der nach der Mossottischen Theorie konstant bleiben sollte, und habe ich ferner die Quadrate des von Magri gefundenen Brechungsindex angegeben. Als Werte K_0 habe ich den Boltzmannschen (1,00059) angenommen. Die Mitteltemperatur bei den Versuchen beträgt 11°.

Dielektrizitätskonst. K	Mittl. Fehler von K	Dichte D	$\frac{1}{D}\frac{K-1}{K+2}$	Quadrat des Brechungsindex n^2
1,0101	$+0{,}4\,.\,10^{-3}$	20	$169\,.\,10^{-6}$	1,0116
1,0196	$+0{,}4\,.\,10^{-3}$	40	$162\,.\,10^{-6}$	1,0237
1,0294	$+0{,}6\,.\,10^{-3}$	60	$162\,.\,10^{-6}$	1,0357
1,0387	$+0{,}6\,.\,10^{-3}$	80	$159\,.\,10^{-6}$	1,0477
1,0482	$+0{,}6\,.\,10^{-3}$	100	$158\,.\,10^{-6}$	1,0601
1,0579	$+0{,}7\,.\,10^{-3}$	120	$158\,.\,10^{-6}$	1,0721
1,0674	$+0{,}9\,.\,10^{-3}$	140	$157\,.\,10^{-6}$	1,0845
1,0760	$+0{,}9\,.\,10^{-3}$	160	$154\,.\,10^{-6}$	1,0971
1,0845	$+1{,}0\,.\,10^{-3}$	180	$152\,.\,10^{-6}$	1,1092

Diskussion der Ergebnisse: Die Berechnung der Dielektrizitätskonstante hängt von zwei Faktoren ab, nämlich von der mit dem Vergleichskondensator vorgenommenen Ablesung $l-l_0$ und von der Konstante $\frac{C_0}{C_1-C_0}$ (l_1-l_0), die man ein für allemal bestimmt.

Was den ersten Faktor anbelangt, so möchte ich erwähnen, daß eine einzelne Ablesung des Vergleichskondensators bis auf 0,02 cm erfolgen kann; d. h. eine Veränderung von 0,0002 des Wertes der Dielektrizitätskonstante würde dem Beobachter entgehen, und deswegen muß man die Ergebnisse, soweit die Empfindlichkeit der Methode in Betracht kommt, in den Ziffern der vierten Stelle als unsicher ansehen.

Die Berechnung der Konstante $\frac{C_0}{C_1-C_0}$ (l_1-l_0) hat ihre größte Fehlerquelle in der Unvollkommenheit der zur Messung der Entfernung d_1-d_0 dienenden Mikrometerschraube. Diese Schraube besitzt einen Schraubengang von einem halben Millimeter und gestattet die Ablesung von 1 : 400 mm. Ich habe sie mit einer anderen verglichen, die 1 : 200 mm gibt, und die Übereinstimmung festgestellt. Es ist anzunehmen, daß der Fehler nicht größer als 0,05 mm ist, und dieser Betrag würde in die obige Bestimmung einen Fehler von 0,5 und in den Wert von $K-1$ einen relativen Fehler von 5 : 1000 hineinbringen, der auf eine Ungewißheit von vier Einheiten in der vierten Stelle des Maximalwertes von K hinauskommt.

Außer diesen von den Grenzen der Empfindlichkeit und von der Unvollkommenheit der Apparate herrührenden Fehlern sind noch die zu berücksichtigen, die von Druck- und Temperaturveränderungen herrühren. Der Druck verändert die Dimensionen des Versuchskondensators; wenn man aber als Koeffizient der linearen Kompressibilität des Messings den Wert $3{,}6\cdot10^{-7}$ annimmt, so erhält man für 200 Atm. eine Annäherung von weniger als 1 : 10000 der Gesamtentfernung zwischen den Platten, und daher einen Fehler, der die vierte Stelle des Maximalwertes von K nicht beeinflussen würde.

Schlußfolgerungen. Aus obiger Tabelle geht hervor, daß die Mossottische Beziehung $\frac{K-1}{K+2}\frac{1}{D}$ nicht konstant bleibt, sondern allmählich mit zunehmendem Druck um Beträge abnimmt, welche nicht innerhalb der Beobachtungsfehler fallen.

Obige Tabelle enthält auch die Werte der Quadrate des Brechungsindex. Da dieser Faktor sich auf eine Wellenlänge des sichtbaren Spektrums ($\lambda = 0{,}54623\ \mu$) bezieht, kann er nicht der Dielektrizitätskonstante gleich sein; die beobachteten Abweichungen stellen die mit der Dichte des Mittels wachsende Dispersion dar.

Wenn man die Mossottische Formel als bestätigt ansieht (was man nur in erster Annäherung tun kann), so würde die Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstante von der Dichte des Mittels durch folgende Formel dargestellt sein:

$$\frac{K-1}{K_2+2}\frac{1}{D} = 0{,}00016.$$

Wenn man vermittels dieser Formel die Dielektrizitätskonstante flüssiger Luft zu berechnen versucht und als Dichte letzterer (mit Bezug auf Luft unter normalen Bedingungen) den Wert 871 annimmt, so erhält man $K = 1{,}475$, was von dem von Dewar gefundenen Werte 1,495 nur wenig abweicht.

Natürlich muß man, um diesem Vergleich die richtige Bedeutung zu geben, außer den auf Extrapolationen bezüglichen Einwänden sich vergegenwärtigen, daß flüssige Luft eine andere Zusammensetzung wie atmosphärische Luft besitzt und daß es vielleicht nicht angängig ist, die so niedrigen Temperaturen nur mit Bezug auf die Dichte zu berücksichtigen.

(Aus dem Italienischen übersetzt von Alfred Gradenwitz.)

(Eingegangen 16. August 1905.)

Bemerkung zur Theorie der konischen Refraktion.

Von W. Voigt.

Beobachtet man die Erscheinung der inneren konischen Refraktion mit einem genügend feinen Strahlenbündel, so nimmt man in dem hellen

Lichtring, den man als Wirkung der konischen Refraktion anzusehen pflegt, eine feine dunkle, dem Ring konzentrische Kreislinie wahr, die den hellen Ring in zwei ungefähr gleichbreite Ringe zerlegt. Diese schwarze Linie ist von Poggendorff[1]) entdeckt worden. Ob ihre Erklärung ernstlich versucht ist, weiß ich nicht; noch 16 Jahre nach ihrer Entdeckung wußte Haidinger[2]) nichts damit anzufangen; nachher erscheint sie, soweit die „Fortschritte der Physik" Auskunft geben, nicht wieder in der Literatur, und die Handbücher, die sich mit Kristalloptik beschäftigen, nehmen von ihr, soweit ich sehe, keine Notiz. Und doch hat die zierliche Erscheinung ein gewisses Interesse.

Ihre Erklärung ist sehr einfach. Man hat nur in Betracht zu ziehen, daß auch das feinste Strahlenbündel Strahlen von unendlich vielen Richtungen enthält, — ein Umstand, den die Autoren, die sich mit der Theorie des Vorgangs beschäftigen, merkwürdig wenig in Betracht ziehen, während sie die endliche Ausdehnung des Querschnitts und somit das Einfallen unendlich vieler paralleler Strahlen in verschiedener Weise in Rechnung setzen.[3]) Von diesen unendlich vielen Richtungen fällt nur eine einzige streng in eine optische Achse; der letzteren parallel fließt also nur verschwindend wenig Licht, und wenn dies verschwindend geringe Quantum bei der konischen Refraktion in den Kegelmantel ausgebreitet wird, so kommt auf das einzelne Element desselben erst recht verschwindend wenig. Für Richtungen aber, die auch nur unendlich wenig aus einer optischen Achse abweichen, gibt die Theorie keineswegs eine Annäherung an die konische Refraktion, sondern gewöhnliche Doppelbrechung; das Verhalten beim Übergang in die optische Achse ist vollständig unstetig.

Hieraus ergibt sich das Paradoxon: die von der Theorie geforderte innere konische Refraktion hat noch nie ein Beobachter wahrgenommen und kein Beobachter wird sie jewahrnehmen; was in dem hellen Ring sich ausdrückt, ist nicht die Wirkung der parallel zur optischen Achse fortgepflanzten Welle, sondern die von Wellen, die in kleiner Neigung gegen sie fortschreiten und die gewöhnliche Doppelbrechung erleiden.

In der Tat, denkt man die auf die Kristallplatte einfallenden Strahlen (resp. Fortschreitungsrichtungen ebener Wellen) einen engen Kreiskegel erfüllend, und zerlegt diesen Kegel in koaxiale Kegelmantel-Elemente, so zeigt eine einfache geometrische Überlegung, daß den Fortpflanzungsrichtungen eines solchen Mantels Strahlen entsprechen, die (in Annäherung) zwei zu dem theoretischen Kegel der konischen Refraktion koaxiale Kegelmäntel erfüllen; der eine rührt von den ordinären, der andere von den extraordinären Strahlen her, der eine liegt von dem theoretischen Kegel ebensoweit nach innen ab, wie der andere nach außen.

Stellt also in der Figur die um O abgegrenzte kleine Kreisfläche die Spur des Kegeleinfallens der Fortpflanzungsrichtungen oder Wellennormalen auf einer Ebene normal zur optischen Achse O dar und ist der stark ausgezogene große Kreis um P die Spur des theoretischen Kegels der konischen Refraktion, so liefern die Wellennormalen auf dem punktierten Kreise um O die beiden Lichtkegel, deren Spuren sehr nahezu die beiden punktierten Kreise um P sind. Verfolgt man so die Wirkung aller der Mantelelemente des hereinfallenden Lichtkegels und bedenkt, daß auf jedes Kreisringpaar um P diejenige Lichtmenge ausgebreitet wird, die durch einen Kreisring um O geht, daß aber durch einen unendlich kleinen Ring auch nur unendlich wenig Licht geht, so sieht man sogleich, daß die beobachtete Erscheinung aus zwei konzentrischen Ringen bestehen muß, die getrennt sind durch einen dunkeln Kreis, die Spur des theoretischen Kegels der konischen Refraktion.

Wäre der einfallende Lichtkegel gleichförmig von Intensität erfüllt, so müßte die Intensität der beobachtbaren Ringe nach außen resp. innen wachsen und plötzlich auf Null fallen. Dies ist in Wirklichkeit, wenn man das Lichtbündel durch zwei kreisförmige Öffnungen abgrenzt, wie man leicht erkennt, nicht der Fall; die Intensität des Bündels nimmt nach außen ab, dementsprechend fällt auch die Intensität der Ringe auf beiden Seiten stetig zu Null.

Bei der äußeren konischen Refraktion unter Benutzung der gebräuchlichen Beobachtungsmethode liegen die Verhältnisse anders, wie das eine einfache Überlegung zeigt.

Göttingen, Sept. 1905.

(Eingegangen 21. September 1905.)

1) J. C. Poggendorff, Pogg. Ann. **48**, 461, 1839.
2) Haidinger, Pogg. Ann. **88**, 486, 1853.
3) Siehe z. B. F. Neumann, Berl. Abh. 1835, § 18; A. Beer, Pogg. Ann. **85**, 76, 1852.

Chromatische Depolarisation durch Lichtzerstreuung.

Von N. Umow.

Ein vollkommen schwarzer Körper wird definiert als ein solcher, der bei unendlich kleiner Dicke alle Strahlen, die auf ihn fallen, vollständig absorbiert. Wenn diese Definition alles erschöpft, was im ideellen Falle vom schwarzen Körper gesagt werden kann, so besitzen die schwarzen Körper der Natur noch eine Eigenschaft, die eine nicht geringe Bedeutung hat und als eine der üblichen gleichmächtige Charakteristik angesehen werden kann. Die teilweise bekannten und andere weiter angeführte Versuche zeigen, daß man den schwarzen Körper vollständig beschreiben kann als einen solchen, welcher eine Ordnung in die Schwingungen der auf ihn auffallenden Strahlen einträgt. Als Folge davon erweist sich, daß das vom schwarzen Körper zerstreute natürliche Licht polarisiert und ein polarisiertes Strahlenbündel nicht depolarisiert wird. Indem wir vom ideellen Falle zu reellen Körpern übergehen, müssen wir die Qualität schwarz im allgemeineren Sinne auffassen. Wir müssen diese immer mit einer bestimmten Art von Strahlen verbinden. Ein Körper kann sich als schwarz gegen bestimmte Strahlen und als nicht schwarz gegen andere verhalten.

Wenn ein farbiger Körper eine auswählende Absorption gegen gewisse Lichtstrahlen besitzt, so wird er schwarz in bezug auf diese, und im von seiner matten Oberfläche zerstreuten polarisierten Bündel weißen Lichtes werden nur diejenigen Strahlen nicht depolarisiert, für welche der Körper schwarz ist.

Im Gegensatz zu den schwarzen Körpern stehen weiße Körper. Da eine unendlich dünne Fläche dieser Körper das auffallende Licht nicht vollständig absorbiert, müssen wir ein Eindringen des Lichtes in weiße Körper und eine Zerstreuung aus ihrer Tiefe annehmen. Ein solcher Vorgang wird von einer Depolarisation des auffallenden polarisierten Lichtes begleitet. Der weiße Körper verändert also die Natur des einfallenden Lichtes, indem er in dieses eine Unordnung einträgt. Aus denselben Gründen wie für schwarze Körper müssen wir von weißen Körpern für bestimmte Strahlen sprechen, die Qualität weiß mit bestimmten Strahlen verbinden. Ein und derselbe farbige Körper kann sich weiß gegenüber einzelnen Strahlen und schwarz gegen andere erweisen. Ein solches Verhalten kann entdeckt werden entweder durch die Untersuchung der Absorptionsspektra oder mit gleichem Erfolge, besonders für undurchsichtige Körper, mittels der Bestimmung des Polarisationszustandes eines polarisierten Lichtbündels nach seiner Zerstreuung von der matten Oberfläche des Körpers. Die Beobachtungen, welche weiter beschrieben werden, führen zu dem Ergebnisse, daß die farbigen Körper diejenigen Strahlen depolarisieren, welche zum größten Teile ihre Körperfarbe bilden, indem solche Strahlen am wenigsten eine Absorption erleiden und den Körper in größerer Dicke durchsetzen.

Eine strenge Sonderung der Körper in weiße und schwarze gegenüber bestimmten Strahlen kann nur ausnahmsweise durchgeführt werden, meistens finden wir nur graue Körper in dem oben auseinandergesetzten Sinne.

Die einschneidende Verschiedenheit in der Zerstreuung des polarisierten Lichtes von matten, schwarzen und weißen Körperoberflächen geht schon aus den älteren Versuchen von Provostaye und Desain hervor. Sie schreiben[1]): „Lorsque'on fait tomber normalement sur une plaque couverte de céruse ou du soufre lavé, un faisceau complétement polarisé dans un azimut quelconque, on ne retrouve que de très faibles proportions de lumière polarisée dans les rayons diffusés sous les angles 30 et 70 degrés, et par suite on peut admettre que, avec ces substances et leurs analogues, la dépolarisation se trouve, dans tous les cas, complète ou presque complète. Avec le noir de fumée, le verre noir depoli, le platine platiné, on obtient des résultats tout autres."

Dieselben Gelehrten machten auch Beobachtungen, die auf eine auswählende Depolarisation durch Zerstreuung des einfallenden polarisierten Lichtes deuten, und welche nach meinen Versuchen immer einem Minimum der Absorption entspricht:

„Lorsqu'on fait tomber sur une plaque diffusante noire, noir de fumée, verre noir, platine platiné, ou sur une plaque diffusante blanche comme la céruse, deux rayons voisins, égaux et polarisés dans les azimuts principaux, leurs images paraissent de même teinte, sous quelque angle qu'on les regarde."

„Il en est autrement si la plaque diffusante est colorée. Alors la tache formée par le rayon polarisé perpendiculairement au plan de réflexion est plus riche en couleur que l'autre. Celle-ci, au contraire, est plus lumineuse, mais elle est lavée de blanc."

„On peut conclure de là, que les rayons de diverses nuances ne sont pas diffusés dans les mêmes proportions et suivant les mêmes lois; mais c'est là un point que nous n'avons pas étudié à fond . . ."

Die Verschiedenheit in der Zerstreuung des polarisierten Lichtes durch schwarze und weiße Körper kann gezeigt werden mittels mehrerer

1) Mémoire sur la diffusion de la chaleur. Ann. de Ch. et de Phys. (3), **34**, 220 flg., 1852.

Verfahren, welche zu farbigen Erscheinungen im polarisierten Lichte führen. Es genügt zu diesem Zwecke, statt des Analysators ein weißes oder schwarzes Tuch, Papier etc. einzuschalten. Auf der weißen Fläche erhalten wir keine Farben, während solche sich auf der schwarzen zeigen. Ein schwarzer Körper wirkt wie ein Analysator. Wenn wir z. B. in den Gang eines linear polarisierten Lichtbündels einen Biquarz einsetzen und sein Bild auf einen schwarzen Körper projizieren, so sieht man die Farben seiner beiden Hälften.

In meinen Versuchen, welche ich hier kurz anführen will, brauchte ich aus verschiedenen Stoffen gepreßte, gegossene oder gefärbte Platten, weißes oder gefärbtes Filtrierpapier, Karton, Pulver etc. Das Schema der Versuche war folgendes: Der glühende Faden einer Nernstschen Lampe wurde auf die matte ebene Fläche des untersuchten Körpers projiziert. Auf dem Wege des Lichtbündels stand ein polarisierender Nicol und ein Prisma à vision directe, welches das auf den Körper projizierte Bild in ein Spektrum zerlegte. Der Körper war an einem Rahmen im Zentrum der Alhidade eines geteilten Kreises befestigt. Dadurch war es möglich, den Einfallswinkel der Strahlen zu verändern. Das von dem Körper zerstreute Licht ging durch einen Satz von 12 Glasplatten, welche unter verschiedenen Winkeln zu den Lichtstrahlen geneigt werden konnten und dann auf ein Savartsches Polariskop, dessen Streifen mit einem kleinen Fernrohre mit Nicol im Okular beobachtet wurden. Der Plattensatz diente zur Bestimmung in üblicher Weise des polarisierten Anteils im zerstreuten Lichte. Die Beobachtungen wurden gemacht zum größten Teile in der rechtwinkligen Stellung der ebenen Fläche des untersuchten Körpers gegen auffallende Strahlen. Man sieht ein Spektrum, welches vom Savartschen dunklen Streifen parallel seiner Länge durchsetzt ist. Diese Streifen laufen in größeren Abständen voneinander am roten Ende des Spektrums und drängen sich mehr und mehr zusammen in der Richtung zum Violett. Ich beobachtete das Verschwinden der Streifen oder nur Spuren derselben in denjenigen Teilen des Spektrums, für welche der Körper die größte Durchlässigkeit besaß. Die Streifen werden unterbrochen in einer Stelle des Spektrums und die einen, von den beiderseits gebliebenen, stehen nicht in der Verlängerung der anderen, was die Schärfe der Wahrnehmung erhöht. In den meisten Fällen verschwinden die Streifen in verschiedenen Gebieten des Spektrums bei verschiedenen Neigungen des Plattensatzes. Die Streifen in Strahlen, welche seitens des Körpers die größte Absorption erleiden, konnten nicht zum Verschwinden gebracht werden. Aus solchen Beobachtungen kann man Schlüsse ziehen über die depolarisierende Wirkung des Körpers auf verschiedene Farben, oder kürzer, über seine chromatische depolarisierende Wirkung. Man konnte in den Rahmen der Alhidade auch zwei Körper nebeneinander einsetzen, einen farbigen und einen schwarzen oder weißen und auf diese Weise ihre Lichtzerstreuung vergleichen. Ich habe sehr oft die Beobachtung gemacht, daß, wenn die Grenze eines farbigen und eines schwarzen Körpers im Gebiete des Spektrums stand, für welches nach hier auseinandergesetzter Anschauung der farbige Körper auch schwarz war, diese völlig verschwand, und man konnte nicht die beiden Flächen voneinander unterscheiden. Die polarisierten Strahlen, welche durch den Körper filtriert waren, zeigen nach ihrer Zerstreuung von der Oberfläche eines ähnlichen Körpers keine Polarisation. Es folgt daraus, daß wenn wir einen matten Körper im polarisierten Lichte durch ein Nicol betrachten und dieses auf das Minimum der Lichtintensität einstellen, die wahrgenommene Farbe aus jenen Strahlen gebildet ist, welche am wenigsten vom Körper absorbiert werden.

Die Erscheinungen sind sehr schön an einigen farbigen Körpern. Ich brauchte nur solche von bestimmter chemischer Konstitution, die ich aus dem chemischen Laboratorium des Herrn Prof. N. Zelinsky dank seiner Liebenswürdigkeit erhalten habe. Ich gebe eine qualitative Beschreibung der gemachten Beobachtungen.

Der farbige Stoff Ponceau *RR* (Pulver). Es waren untersucht mittels einer hydraulischen Presse gepreßte Platten, mit der wässerigen Lösung gefärbtes Filtrierpapier, weißer Bristol-Karton, gegossene Platten aus Gips. Die Savartschen Streifen verschwinden nur im mittleren Rot. Die Erscheinung ist sehr scharf. Schwache Polarisation im Orange, Gelb, Grün; alle übrigen Strahlen stark polarisiert. Die wässerige Lösung läßt dieselben Farben durch, das mittlere Rot am meisten.

Säuregrün *GG*. Die wässerige Lösung läßt durch einen engen Streifen im Rot und einen breiten im Grün und Blau. Die durch die Lösung filtrierten Strahlen, zerstreut von mit ihr gefärbtem Filtrierpapier oder Gipsplatte, zeigen nur Spuren von Polarisation; zerstreut vom schwarzen Papiere — starke Polarisation. Im vollen Spektrum erweisen sich als depolarisiert dieselben Strahlen, alle anderen bleiben polarisiert. Bei intensiver Färbung des zerstreuenden Körpers werden alle Strahlen polarisiert mit einem Minimum im Dunkelblau. Eine aus dieser Farbe gepreßte Platte zeigt eine Polarisation in allen Strahlen, am wenigsten in Grün.

Filtrierpapier und Gipsplatten, gefärbt mit

Echtgelb, Orange 2B, Orange IV, depolarisieren die durch ihre wässerigen Lösungen durchgelassenen Strahlen: Rot, Orange, Gelb, Anfang Grün. Die letzte der oben genannten Farben depolarisiert einen breiteren grünen Streifen.

Anilinfarben (bezogen von Kahlbaum). Filtrierpapier und Gipsplatten, gefärbt mit Methylviolett. Die wässerige Lösung läßt mittelrote und blauviolette Strahlen durch. Im zerstreuten Lichte sind nur diese Strahlen depolarisiert. Malachitgrün. Die wässerige Lösung läßt alle Strahlen rotblau durch. Mit Malachitgrün gefärbtes Filtrierpapier ist nur für grüne Strahlen durchsichtig; demgemäß finden wir Depolarisation nur im spektralen Grün. Gefärbte Gipsplatte gibt schwache Polarisation in einem Teile von Rot und Blau; stärkere Polarisation Ende Rot, Orange, Gelb, Anfang Grün, die Savartschen Streifen ziehen nur durch den mittleren Teil des Spektrums. Gepreßte Platte polarisiert alle Strahlen, Anfang Grün am wenigsten. — Fuchsin; gefärbtes Filtrierpapier depolarisiert rote Strahlen, für welche es durchscheinend ist. Die Vergleichung der Erscheinungen auf farbigem Papier und auf einem nebenliegenden schwarzen führt zu dem Schlusse, daß die Verschiedenheit in der Polarisation des durch die Papiere zerstreuten Lichtes parallel derjenigen der Intensität dieses Lichtes läuft. Im grünen Teile des Spektrums erwies sich die Polarisation und die Intensität des zerstreuten Lichtes von beiden Papieren in solchem Maße gleich, daß es unmöglich war, die Grenze der beiden aneinander stoßenden Flächen zu unterscheiden.

Die Stärke nähert sich am meisten einem vollkommen weißen Körper: sie depolarisiert alle Strahlen. Es folgen weiter Kreide, Gips, Filtrierpapier und andere, gewöhnlich als weiße bezeichnete Körper, welche nur Spuren der Polarisation zeigen. Als schwarz erweisen sich Ruß, schwarzes Tuch zur Verfinsterung der Auditorien von Max Kohl; sie geben eine sehr starke Polarisation und können als Analysatoren des polarisierten Lichtes dienen. Es kommen weiter andere als schwarz bezeichnete Körper.

Mit Jod gefärbte Gipsplatte — in Rot Spuren der Polarisation. Frisch mit Cyanin gefärbte Gipsplatte depolarisiert das extreme Rot; eine Stunde später polarisiert sie alle Strahlen. Chromgelb depolarisiert alle Strahlen von Rot bis Blau inklusive. Ocker: Rot-Spuren der Polarisation, Gelb depolarisiert, Anfang Grün schwach polarisiert, die übrigen stärker. Zinnober — rot und orange depolarisiert, die übrigen scharf polarisiert. Mennige depolarisiert rot, orange, gelb; die übrigen scharf polarisiert. Gebrannte Terra di Sienna, Umbra, natürliche und gebrannte, Casseler Erde, polarisieren alle Strahlen, die roten schwächer: es sind graue Körper. Zinkgrün depolarisiert alles außer Blau und Violett, wo eine schwache Polarisation besteht. Ultramarin gibt eine starke Polarisation im Rot; sie wird immer schwächer bis Blau, wo sie verschwindet. Bei Ferrocyankalium sind Rot, Orange, Gelb polarisiert, die übrigen Strahlen von Grün an depolarisiert. Die Metalle geben polarisiertes Licht. Ich will nicht weiter die Liste der untersuchten Körper erweitern; die oben auseinandergesetzten Regeln geben die Möglichkeit, vorher die Art der Strahlen zu sehen, welche durch Zerstreuung depolarisiert oder schwach polarisiert werden.

Der Bau des Körpers hat auch einen Einfluß auf die Zerstreuung des polarisierten Lichtes. Der hölzerne Boden eines Zündhölzchen-Körbchens depolarisiert das Licht, wenn die Polarisationsebene einen rechten Winkel mit den Fasern des Holzes bildet; das zerstreute Licht bleibt polarisiert, wenn die Polarisationsebene und die Faser einander parallel laufen.

Das Verhalten der natürlichen schwarzen Körper gegen die Zerstreuung des polarisierten Lichtes deutet eine Verschiedenheit zwischen Schwarz in der Natur und den künstlichen schwarzen Strahlern an. Ich denke, daß die Theorie der Strahlung in einem realen geschlossenen Hohlraume, dessen Wände, nach dem oben Auseinandergesetzten, den Strahlen teilweise Ordnung, teilweise Unordnung aufdringen, einige neue Umstände berücksichtigen muß.

Moskau, Physik. Inst. d. Univ., Septbr. 1905.

(Eingegangen 11. September 1905.)

Ein Demonstrationsversuch zum Nachweis ultraroter Strahlen.[1])

Von Albert Dahms.

In dem Aufsatz von F. Giesel „Ein Demonstationsversuch zum Nachweis ultraroter Strahlen“[2]) wird zum Nachweis ultraroter Strahlen durch Phosphoreszenzauslöschung folgender Versuch beschrieben:

Man befreit die Strahlung einer Lichtquelle von ihrem sichtbaren und ultravioletten Teil durch eine dünne Hartgummiplatte (von etwa 0,5 bis 1 mm Dicke). Durch die Hartgummiplatte hindurchtretende ultrarote Wellen werden mit Hilfe eines vorher zur Phosphoreszenz erregten Zinksulfidschirmes dadurch nachgewiesen, daß sie die Phosphoreszenz auslöschen. Besonders instruktiv wird der Versuch, wenn der

1) Eine Bemerkung zu dem gleichnamigen Aufsatz von F. Giesel in dieser Zeitschrift **4**, 862, 1903.

2) F. Giesel, diese Zeitschrift **4**, 862, 1903.

Schirm durch Bogenlicht unter Einschaltung eines Filters aus Jenenser Blauviolettglas der Firma Schott und Gen. zu besonders kräftiger Phosphoreszenz erregt wird und dann unter Zwischenschaltung von Gegenständen, welche ultrarote Strahlen nicht hindurchlassen, mit der Hartgummiplatte bedeckt, kurze Zeit derselben Lichtquelle ausgesetzt wird. Die von den Gegenständen bedeckten Stellen zeigen noch die normale Phosphoreszenz, während die unbedeckten Stellen so gut wie abgedunkelt sind. Ein dem Auslöschen der Phosphoreszenz vorhergehendes „Anfachen" kann hierbei nicht beobachtet werden.

Hierzu möchte ich bemerken, daß dieser Demonstrationsversuch genau mit den hier beschriebenen Einzelheiten nicht von Herrn Giesel, sondern von mir herrührt, und von mir Herrn Giesel bereits im Jahre 1901 brieflich mitgeteilt worden ist. Ich sehe mich zu dieser Feststellung des Sachverhalts gezwungen, weil infolge der Tatsache, daß Herr Giesel es unterlassen hat, mich als Autor des von ihm beschriebenen Versuchs namhaft zu machen, die Autorschaft des Versuchs fälschlich ihm selbst zugeschrieben worden ist.[1])

Auf meine Bitte, diesen Irrtum seinerseits öffentlich zu berichtigen und obigen von ihm beschriebenen Demonstrationsversuch als nicht von ihm, sondern von mir herrührend zu bezeichnen, hatte Herr Giesel nur folgende Antwort: „Ihr mir mitgeteiltes Arrangement: Bogenlicht — Jenenser Blauglas — Hartgummiplatte — Sidotschirm ist sehr schön und bequem, und deshalb habe ich diese Anordnung auch beschrieben; prinzipiell bietet sie aber nichts Neues, was eine besondere Namensnennung berechtigen sollte."

Mit dieser Begründung glaubt Herr Giesel den Irrtum, durch welchen ihm die Autorschaft eines von ihm ohne Nennung des Autors veröffentlichten Versuchs zugeschrieben wird, unkorrigiert lassen zu können, trotzdem er selbst mir brieflich zugeben mußte, daß ein Leser seines Aufsatzes ohne eingehende Kenntnis meiner erst wenige Monate vorher erschienenen Habilitationsschrift[2]) sehr gut zu einem Irrtum bezüglich der Priorität gelangen konnte, weil in seiner Publikation Bekanntes und Neues ungenügend auseinandergehalten sei.

Mit dieser Ansicht über seine Publikation steht übrigens Herr Giesel nicht allein. Nicht nur ich teile sie, sondern schon im Winter 1903/04 hat Herr Professor O. Wiener, wie an dieser Stelle mitzuteilen er mich ausdrücklich ermächtigt hat, die Fassung des Gieselschen Aufsatzes als eine derartige bezeichnet, daß durch sie meine Autorschaft an dem beschriebenen Demonstrationsversuch in keiner Weise zum Ausdruck gebracht werde, und jeder unbefangene Leser die Meinung gewinnen müsse, als ob der beschriebene Demonstrationsversuch Herrn Giesel zum Urheber habe.

Leipzig, Physikalisches Institut der Universität, 18. September 1905.

(Eingegangen 20. September 1905.)

1) Wildermanns Jahrbuch der Naturwissenschaften **20**, 28—29, 1905.

2) Leipzig 1903, Seite 26—29, sowie Ann. d. Phys. **13**, 446—449, 1904.

Die Theorie der relativen Bewegung und ihre Anwendung auf Bewegungen auf der Erdoberfläche.

Von A. Denizot.

In dieser Zeitschrift wendet sich Herr Tesař[1]) in einer Abhandlung unter obigem Titel gegen meine[2]) Betrachtungsweise über das Foucaultsche Pendel und bringt zur Bekräftigung der bisherigen Ansicht, daß nämlich die scheinbare Drehung der Pendelebene durch die Coriolissche Kraft und nicht durch die instantane Zentrifugalkraft hervorgerufen werde, einige Betrachtungen, die jedoch — wie ich mir im folgenden erlauben werde zu zeigen — keineswegs die Sache treffen. Ich kann mich dabei um so kürzer fassen, als das Maßgebende in dieser Frage demnächst in den Annalen der Physik erscheinen wird; hier möchte ich nur das vorbringen, was sich unmittelbar an die Ausführungen des Herrn Tesař anschließt.

Die Bewegungsgleichungen, welche Herr Tesař auf einem besonderen Wege ableitet, stimmen ebenso wie die meinigen im wesentlichen mit den Poissonschen[3]) Gleichungen überein. Der Koordinatenanfang sei ein Punkt der Vertikalen des Ortes unter der geographischen Breite φ, die $+x$-Achse sei parallel der Tangente an den Meridian des Ortes und nach Norden, die $+y$-Achse nach Osten gerichtet, die $+z$-Achse falle in die Richtung der Vertikalen nach der Erde zu. Alsdann lauten die Bewegungsgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} x'' &= \omega^2(x\sin\varphi + z\cos\varphi)\sin\varphi - 2\omega y'\sin\varphi + X_1 \\ y'' &= \omega^2 y + 2\omega(x'\sin\varphi + z'\cos\varphi) + Y_1 \\ z'' &= \omega^2(x\sin\varphi + z\cos\varphi)\cos\varphi - 2\omega y'\cos\varphi \\ &\quad + g + Z_1 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

Hierin bedeuten X_1, Y_1, Z_1 beliebige äußere Kräfte, jedoch mit Ausschluß der Erdanziehung, die zusammen mit der auf den Koordinatenanfang wirkenden Kraft die in die Vertikale des Ortes fallende Schwere g des Ortes bildet.

Soweit stimmen die Ergebnisse des Herrn

1) L. Tesař, diese Zeitschrift, **6**, 556, 1905.

2) A. Denizot, ibd., **6**, 342, 1905.

3) S. D. Poisson, Journ. de l'École Polyt. **28**, 15, 1838.

Tesař mit den meinigen überein; seine weiteren Entwickelungen, die einen Gegensatz zu meinen Ausführungen bilden, beruhen jedoch auf unrichtigen Schlüssen.

Herr Tesař glaubt zunächst gegenüber den Gliedern mit ω, welche von der Coriolisschen Kraft herrühren, die anderen, die instantane Zentrifugalkraft repräsentierenden Glieder mit ω^2 ohne weiteres vernachlässigen zu können. „Denn diese sind von der Größenordnung ω^2, wo $\omega = \frac{2\pi}{86164}$. Sicherlich kann aber ihre Wirkung nie die der ersteren übertreffen."

Dies ist aber ein Versehen; denn die Coriolissche Kraft hängt nicht nur von ω, sondern auch von den Geschwindigkeiten x', y', z' ab, und ebenso ist die instantane Zentrifugalkraft von zwei Faktoren, nämlich außer von ω^2 noch von den Entfernungen x, y, z abhängig. Bei passenden Geschwindigkeiten bezw. Entfernungen können beide Kräfte gleich werden, und an Stellen, wo die relative Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung Null wird, z. B. in den Umkehrpunkten des Pendels, verschwindet überhaupt die Coriolissche Kraft, während dies keineswegs der Fall mit der instantanen Zentrifugalkraft ist. Bei anderen Problemen, wie z. B. bei dem der von Herrn Tesař behandelten Geschoßabweichung, ist es allerdings berechtigt, die Glieder mit ω^2 gegenüber denen mit ω unberücksichtigt zu lassen. Jedoch darf man diese Vernachlässigung nicht allgemein durchführen; im Falle des Foucaultschen Pendels führt eine solche Behandlung zu Ergebnissen, die im Widerspruche mit den Tatsachen sind.

Wir wollen gerade den Fall betrachten, wo die relative Geschwindigkeit Null wird, und um die Verhältnisse möglichst einfach zu gestalten, wollen wir die Bewegungsgleichungen (1) für den Nordpol ($\varphi = 90$) umformen; wir erhalten dann:

$$\left.\begin{aligned} 0 &= \omega^2 x - 2\omega y' + X_1 \\ 0 &= \omega^2 y + 2\omega x' + Y_1 \\ 0 &= g + Z_1 \end{aligned}\right| \quad \ldots \quad (2)$$

Hierin sind X_1, Y_1, Z_1 die Komponenten der Fadentension oder auch des Widerstands einer ideellen Kugelfläche, auf der sich der Körper reibungslos bewegen soll.

Ist nun die relative Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung gleich Null, so bleibt von diesen Gleichungen übrig:

$$\left.\begin{aligned} x'' &= \omega^2 x + X_1 \\ y'' &= \omega^2 y + Y_1 \\ z'' &= g + Z_1 \end{aligned}\right| \quad \ldots \quad (3)$$

In Worten: Der unter dem Einfluß der Schwere auf der ideellen Oberfläche einer Kugel sich bewegende Körper vollführt eine (scheinbare) horizontale Kreisbewegung, und zwar mit der Winkelgeschwindigkeit der Erde, aber (zufolge des ersten Teiles des Clairaut-Coriolisschen Theorems) im entgegengesetzten Sinne der Erddrehung, d. h. der auf der Oberfläche der Kugel sich befindende Pendelkörper ist in den Umkehrpunkten in absoluter Ruhe, und dies ist eben die beim Foucaultschen Pendelversuch auftretende Tatsache.

In den Umkehrpunkten, den für den Versuch maßgebenden Stellen, ist die scheinbare Drehung am größten, weil hier die konstante Zentrifugalkraft am meisten zur Geltung kommen kann; dagegen wird beim Durchgang durch die Vertikale keine Drehung stattfinden. Hierdurch wird gleichzeitig die schleifenartige Spur beim Foucaultschen Pendelversuch erklärt. Wie will man aber diese mittels der Coriolisschen Kraft erklären, wenn sich in den Umkehrpunkten, wo sie verschwindet, gar keine weitere Ausweichung und beim Durchgang durch die Vertikale, wo die Geschwindigkeit und daher auch diese Kraft das Maximum erreicht, die größte Ausweichung ergibt? Man müßte noch zudem annehmen, daß der Körper jedesmal in dem Augenblick, in welchem er eine Umkehrstelle erreicht, mit der Erde fest verbunden bliebe! Die von Herrn Tesař auf Grund der Coriolisschen Kraft gezeichnete Figur (3) ist doch ganz unvereinbar mit den bei dem Foucaultschen Pendelversuch auftretenden Tatsachen. Diese Figur, durch welche die Rechtsdrehung der Pendelebene erklärt werden soll, ist in der Tat, wie Herr Tesař selbst zugibt, „der Deutlichkeit halber stark übertrieben." Es läßt sich nämlich leicht der Satz beweisen: Wenn man in der Umgebung des Nordpols auf einer glatten, horizontalen Unterlage eine Kugel nur unter dem Einfluß der Coriolisschen Kraft mit einer konstanten Geschwindigkeit c rollen läßt, so beschreibt diese Kugel einen Kreisbogen, dessen Radius

$$r = \frac{c}{2\omega} \text{ ist.} \quad \left(\text{Für } c = 1\,\frac{\text{m}}{\text{sec}} \text{ ergibt sich}\right.$$

$r =$ ca. 1 geograph. Meile.) Nun haben wir beim Foucaultschen Pendel nicht eine konstante Geschwindigkeit, sondern eine variable: in den Umkehrpunkten ist sie gleich Null und in der Vertikalen am größten; aber selbst wenn wir eine konstante, etwa eine mittlere Geschwindigkeit in Betracht ziehen wollten, so würden wir uns zufolge des eben angeführten Satzes von der bei einer Schwingung infolge der Coriolisschen Kraft auftretenden Krümmung der relativen Bahn doch kaum einen Begriff machen können. Poisson[1]), der zuerst die allgemeinen Bewegungsgleichungen aufgestellt hat, sagt in bezug auf das Pendel von der Coriolisschen Kraft: „En calculant cette dernière force, on trouve qu'elle est trop petite pour écarter

1) S. D. Poisson, l. c. S. 24.

sensiblement le pendule de son plan, et avoir aucune influence appréciable sur son mouvement." Wie soll übrigens die fortwährend in ein und demselben Sinne gleichmäßig erfolgende Drehung der Pendelebene durch die Coriolissche Kraft stattfinden, wenn diese bei Umkehr des Pendels nicht denselben, sondern den entgegengesetzten Richtungssinn annimmt?

Auch gegen die mathematische Behandlung des Herrn Tesař erheben sich Bedenken. Indem zunächst eine Schwingung in der xz-Ebene betrachtet wird, werden für das Foucaultsche Pendel folgende Gleichungen aufgestellt:

$$\left.\begin{aligned} x'' &= -n^2 x \\ y'' &= -n^2 y + 2\omega x' \sin\varphi \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad (4)$$

Hierin bedeuten die Glieder $-n^2 x$ und $-n^2 y$ die Komponenten der Widerstandskraft R der Kugelfläche, auf welcher sich der Pendelkörper mit der Masse $m = 1$ bewegt; ist l der Radius der Kugel (die Länge des Fadenpendels), so ist also $R\frac{x}{l} = n^2 x$ und $R\frac{y}{l} = n^2 y$ gesetzt. Aus der ersten der Gleichungen (4) wird nun

$$x = a\cos nt \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

ermittelt, wo a die anfängliche Auslenkung des Pendelkörpers in der x Richtung ist. Weiter wird für die Zeit einer einfachen Schwingung gemäß (5) der Wert $t = \frac{\pi}{n}$ angenommen. Hierdurch wird also der ersten der Gleichungen (4) die Bedeutung gegeben, daß der Körper sich in der x-Achse mit einer der Entfernung vom Koordinatenanfang proportionalen Kraft bewegt. Allein eine solche Behandlung ist unzulässig; denn auf diese Weise wird die feste Bedingung, daß der Körper (unter dem Einfluß der Schwere) sich auf einer Kugelfläche bewegen soll, in eine treibende Kraft verwandelt; hierdurch wird ein Perpetuum mobile geschaffen, indem aus nichts, allein durch das Vorhandensein der festen Bedingung, Energie erzeugt wird.[1])

Somit glaube ich gezeigt zu haben, daß die von Herrn Tesař angestellten Betrachtungen weder die Rechtsdrehung der Pendelebene noch das Sinusgesetz als Folge der Coriolisschen Kraft ergeben; sein Bestreben, die übliche Theorie des Foucaultschen Pendels gegenüber meinen Ausführungen zur Geltung zu bringen, ist demnach als mißlungen zu betrachten; vielmehr wird durch seine Auseinandersetzungen gezeigt, wie man infolge unberechtigter Vernachlässigungen und Hypothesen zu Vorstellungen gelangen kann, die den Tatsachen widersprechen.

1) Vgl. hierzu M. Planck, Das Prinzip der Erhaltung der Energie, S. 154. Leipzig 1887.

Charlottenburg, September 1905.

(Eingegangen 17. September 1905.)

Theorie der relativen Bewegung.

(Bemerkung zu Herrn Denizots Erwiderung auf meine Kritik seines Aufsatzes unter obigem Titel.)

Von M. P. Rudzki.

Die Erwiderung des Herrn Denizot[1]) beruht auf einem Mißverständnis. Herr Denizot mutet mir zu, in meiner Kritik[2]) hätte ich seine Gleichungen auf ein schwingendes Pendel und zwar im Momente, wo es durch die Gleichgewichtslage geht, angewandt. Davon war aber in meiner Kritik keine Rede. Um die Unzulänglichkeit der Gleichungen von Herrn Denizot zu beweisen, habe ich dieselben auf den speziellen Fall eines ruhig hängenden Pendels angewandt und zwar habe ich wörtlich gesagt:

„Nehmen wir den denkbar einfachsten Fall, nämlich denjenigen, wo das Pendel sich in Ruhe[3]) befindet." — Ich glaube, dies ist klar genug und begreife nicht, wie Herr Denizot mir eine andere Deutung unterschieben und mich einer „Verwechslung der Begriffe der Ruhe und Bewegung" beschuldigen konnte. Die Verwechslung ist ja auf seiner Seite. —

Ich betrachte meine Polemik mit Herrn Denizot bezüglich seines Aufsatzes im Bull. Ac. Sc. Cracovie 1904, S. 449—485 als hiermit erledigt. Zur Aufklärung für den Leser lasse ich nur noch den Text meiner von Herrn Denizot angefochtenen Kritik wörtlich folgen.

„Im zweiten Teil dieses (nämlich des im Titel meiner Kritik genannten) Aufsatzes, wo Herr Denizot die allgemeinen Formeln auf das Foucaultsche Pendel anwendet, befindet sich ein Mißverständnis: Herr Denizot verwechselt nämlich die Richtung nach dem Erdzentrum mit der Vertikalen, was aus dem Texte und der Zeichnung auf S. 468 sofort ersichtlich ist.

Weiter sind die für das Foucaultsche Pendel gültigen Gleichungen 14* auf Seite 472 fehlerhaft.

Diese Gleichungen, wenn man noch die Komponenten der Tension des Fadens hinzufügt, wie es Herr Denizot auf derselben Seite richtig verlangt, lauten folgendermaßen:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \omega^2\sin^2\varphi\, x + \omega^2\cdot\sin\varphi\cos\varphi\, z - 2\omega\sin\varphi\,\frac{dy}{dt} - \frac{Rx}{l}$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \omega^2 y + 2\omega\sin\varphi\,\frac{dx}{dt} + 2\omega\cos\varphi\cdot\frac{dz}{dt} - \frac{Ry}{l}$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = g + \omega^2\cos^2\varphi\, z + \omega^2\sin\varphi\cos\varphi\, x - 2\omega\cos\varphi\,\frac{dy}{dt} - \frac{Rz}{l}.$$

1) Diese Zeitschr. **6**, 559, 1905.

2) Bull. Acad. Sc. Cracovie 1905. S. 253—254 (Märzheft).

3) loc. cit. S. 254 oben.

Nehmen wir den denkbar einfachsten Fall, nämlich denjenigen, wo das Pendel sich in Ruhe befindet. Indem Herr Denizot den Anfangspunkt der Koordinaten im Aufhängepunkt des Pendels annimmt [Seite 469 unten] und die Länge des Pendels mit l bezeichnet, so sind die Koordinaten des Pendels:

$$x = 0 \quad y = 0 \quad z = l,$$

während die Geschwindigkeiten und Akzelerationen verschwinden. Dann gibt aber die erste der Gleichungen 14*

$$\omega^2 \sin\varphi \cos\varphi \cdot l = 0.$$

Also muß die Länge des Pendels gleich Null sein. Dieser Widerspruch reicht hin, um zu beweisen, daß die Gleichungen 14* fehlerhaft sind.

Selbst wenn man der Absicht des Verfassers entgegen die Bestimmung beseitigt, daß die z-Achse in die Richtung der Vertikale falle, so kann man doch [den Fall der Ruhe vorausgesetzt] die Gleichungen 14* auf keine Weise erfüllen, ohne zu physikalisch unmöglichen Schlüssen zu gelangen. Ebenso fehlerhaft sind die auf S. 482 stehenden, auf gleiche Weise wie die Gleichungen 14* abgeleiteten Gleichungen 26*, welche den Seitendruck der Eisenbahnzüge auf die Schienen ausdrücken sollen. — Ich könnte noch andere Widersprüche hervorheben, doch erscheint mir eine ausführliche Auseinandersetzung überflüssig, sobald auf den Fehler in den Gleichungen hingewiesen wird."

(Eingegangen 22. September 1905.)

BESPRECHUNGEN.

J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie. Zweite, umgearbeite Auflage. Mit mehreren Tafeln in Autotypie, verschiedenen Karten und zahlreichen Abbildungen im Text. 8. Vollständig in ca. 6 Lieferungen à 3 Mk. Leipzig, C. H. Tauchnitz. 1905.

Das Erscheinen einer zweiten Auflage des Hannschen Lehrbuches der Meteorologie wird überall mit lebhafter Freude begrüßt werden und gerade der Umstand, daß nach verhältnismäßig kurzer Zeit diese Neuauflage nötig wurde, beweist wohl am besten, welch allgemeiner Beliebtheit sich dieses Werk erfreut. Darum dürfte es hier genügen, auf die Änderungen hinzuweisen, die der Verfasser vorzunehmen für wünschenswert erachtet hat. Neu aufgenommen sind die Resultate der systematischen Erforschung der höheren Luftschichten durch die internationalen Ballonfahrten und Drachenaufstiege, und der Wolkenbeobachtungen. Im großen ganzen ist das Buch kürzer gefaßt, in der Absicht, es zu einem wirklichen Lehrbuch zu gestalten, für den Gebrauch der Studierenden an Hochschulen geeigneter zu machen, als die erste Auflage. Der Preis ist demgemäß etwas erniedrigt worden. Äußerlich dürfte übrigens das Buch den gleichen Umfang beibehalten, da für den Druck etwas größere Typen gewählt sind. Die Ausstattung an Abbildungen und Karten wird nichts zu wünschen übrig lassen. So steht zu hoffen, daß sich das Buch auch in seiner neuen Form einen recht weiten Freundeskreis erwerben möge.

E. Przybyllok.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Es habilitierten sich Dr. Karl Przibram als Privatdozent für das Gesamtgebiet der Physik an der Universität Wien, Dr. Robert Kremann als Privatdozent für Chemie mit besonderer Rücksicht auf allgemeine und physikalische Chemie an der Universität Graz, Dr. Thaddäus Godlewski als Privatdozent für allgemeine und technische Physik an der Technischen Hochschule in Lemberg, Dr. Georg Baborovsky für physikalische Chemie und Dr. Franz Plzak für organische Chemie an der böhmischen Universität in Prag.

Dem Privatdozenten der Mathematik Dr. M. Dehn in Münster i. W. wurde das Prädikat Professor verliehen, dem Privatdozenten für Mathematik an der Universität Berlin Dr. Edmund Landau der Titel Professor.

Ernannt wurden: der Privatdozent Dr. Emerich Szaravasy zum ordentlichen Professor für Elektrotechnik am Polytechnikum zu Budapest, der Privatdozent an der Wiener Universität Dr. K. Carda zum a. o. Professor der Mathematik an der Technischen Hochschule in Wien, der Maschineningenieur Albert Bayer zum a. o. Professor für Elektrotechnik und technische Mechanik an der montanistischen Hochschule zu Przibram, der ehemal. Professor an der Technischen Hochschule in Berlin Dr. J. Weingarten zum ord. Honorarprofessor für Mathematik an der Universität Freiburg i. B.

Für das erledigte Ordinariat für Pharmazie und angewandte Chemie an der Universität München ist der Direktor der naturwissenschaftlichen Versuchsabteilung am Kaiserlichen Gesundheitsamte in Berlin, Prof. Dr. med. et phil. Theodor Paul berufen worden und wird der Berufung Folge leisten; der Privatdozent am Physikalischen Institut der Universität Berlin Dr. Hermann Starke wird einem Ruf als a. o. Professor an die Universität Greifswald folgen.

Die kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien ernannte den o. Professor der Mathematik an der Wiener Universität Dr. W. Wirtinger zum wirklichen Mitgliede und den o. Professor der Physik an der Technischen Hochschule in Brünn Dr. Jaumann zum korrespond. Mitgliede.

Gestorben der a. o. Professor der Astronomie an der Universität Straßburg Dr. Walter Wislicenus am 3. Oktober.

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.